

Interessen- und Wissensentwicklung bei Schülerinnen und Schülern der Sek II in außerschulischer Lernumgebung am Beispiel von NaT-Working „Meeresforschung“

**Dissertation zur Erlangung eines Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrecht-Universität zu Kiel**



**vorgelegt von Anja Schmitz
Kiel, November 2006**

Referent:

Koreferent:

Tag der mündlichen Prüfung:

Zum Druck genehmigt: Kiel,

Der Dekan

Für meine Neffen Jonas und Noah Blumenstock

Danksagung

Mein Dank gilt allen, die mich auf meinem Weg zur Dissertation unterstützt haben und allen, die zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen haben.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. Horst Bayrhuber, der mich in allen Bereichen sehr kompetent, freundlich und geduldig unterstützt hat und stets für meine fachlichen Fragen und persönlichen Anliegen erreichbar war.

Mein persönlicher und großer Dank gilt Prof. Dr. Claudia Nerdel für ihre fachkompetente Unterstützung und fürsorgliche Begleitung meiner Dissertation.

Mein persönlicher Dank gilt dem Kollegium der Biologiedidaktik des IPN für das sehr gute Arbeitsklima, für die gemeinsamen Mittagessen in der Mensa, die nicht selten zu einem interessanten kognitiven Nachtschisch geführt haben. Für wertvolle Kritiken bedanke ich mich bei Prof. Dr. Marcus Hamann. Für die Unterstützung in Fragen zur Statistik bedanke ich mich ganz herzlich bei Dr. Markus Lücken. Für den stets interessanten und wertvollen Erfahrungsaustausch über den Bereich Evaluation außerschulischer Lernorte, bedanke ich mich bei Ingrid Glowinski. Für die Unterstützung bei der Korrektur meiner Arbeit bedanke ich mich bei Dr. Lars Allolio-Näcke, Barbara und Michael Blumenstock, Ines Donner, Maike Ehmer, Sandra Hedrich, Simone Lachmayer, Frank Knaus, Dianne K. und Georgios Kokkonidis, Andreas Menz, Gesa Schoormans und Simona Sistig.

Mein Dank gilt außerdem allen Projektbeteiligten von NaT-Working „Meeresforschung“, ohne deren Unterstützung meine Dissertation nicht möglich gewesen wäre, insbesondere Dr. Avan N. Antia, Dr. Joachim Dengg, Bernd Blume, Götz von Arend und Christiane Queisser.

Mein persönlicher Dank gilt den Menschen, die mich in Berlin während meines Aufbaustudiums zu einer wissenschaftlichen Arbeit in der Fachdidaktik ermutigt haben, insbesondere Prof. Dr. Klaus W. Döring, Prof. Dr. Rudolf Ehwald, Prof. Dr. Dirk Krüger, Prof. Dr. Helmut Prechtel, Prof. Dr. Lutz-Helmut Schön, Dr. Angelika Müller und Hauke Hellwig.

Von ganzem Herzen danke ich meiner Familie, insbesondere meiner Mutter Hildegard Schmitz und meiner Schwester Barbara Blumenstock, die mir Halt gegeben und mich emotional unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	6
ABSTRACT	7
I. EINLEITUNG	8
II. THEORETISCHER HINTERGRUND	10
II.1 Interesse	10
II.1.1 Pädagogisch-psychologischer Ansatz	10
II.1.2 Fachdidaktischer Ansatz	13
II.1.3 Naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten	18
II.1.4 Zusammenfassung	21
II.2 Wissen und Verständnis	22
II.2.1 Konzeptualisierung	23
II.2.2 Diagnose	25
II.2.2.1 Wissensdiagnose mit Texten	26
II.2.2.2 Wissensdiagnose mit Concept Maps (Begriffsnetzen)	26
II.2.3 Zusammenfassung	32
II.3 Zusammenhang zwischen Interesse und Wissen	33
II.3.1 Das Selbstkonzept und seine Bedeutung für Interesse und Wissen	34
II.3.2 Zusammenfassung	35
II.4 Fachwissenschaftlicher Hintergrund	36
II.4.1 Lebensraum Meer	36
II.4.1.1 Abiotische Faktoren	36
II.4.1.2 Biotische Faktoren	39
II.4.1.3 Ausgewählte Stoffkreisläufe: CO ₂ - und N-Kreislauf	40
II.4.1.4 Ernährungsformen und Zellstoffwechsel	45
II.4.1.5 Marine Nahrungsbeziehungen	47
II.4.2 Zusammenfassung	49
II.5 Forschungsfragen und Hypothesen	50
III. MATERIAL UND METHODEN	61
III.1 Stichprobe	61
III.2 Auswahl der Forschungsmethoden	62
III.3 Das Forschungsdesign	64

III.4 Erhebungs- und Auswertungsmethoden	66
III.4.1 Skalendokumentation	66
III.4.1.1 Prüfung der Skalen in der Vorstudie	66
III.4.1.2 Kriterien für die Skalendokumentation	67
III.4.1.3 Pre-Test	70
III.4.1.4 Post-Test	73
III.4.2 Auswertung der erhobenen Fragebogendaten	83
III.4.2.1 Deskriptive Statistik	83
III.4.2.2 Korrelationsanalyse	83
III.4.2.3 Testen von Mediatorvariablen	84
III.4.3 Concept Map Testkonstruktion	86
III.4.3.1 Validierung der Concept Map Testkonstruktion (Vorstudie)	86
III.4.3.2 Aufgaben- und Antwortformat	87
III.4.3.3 Bewertungsformat	87
III.4.3.4 Einführung in die Methode des Concept Mappings	88
III.4.4 Auswertung der erhobenen Concept Map Daten	88
III.4.4.1 Grafentheoretische Auswertung	88
III.4.4.2 Interraterreliabilität	90
III.4.4.3 Auswertung mit Referenznetz	90
III.4.4.3.A Transkription	93
III.4.4.3.B Grafentheoretische Auswertung (1)	95
III.4.4.3.C Ermittlung des individuellen Summenscores (2)	95
III.4.4.3.D Unterschiedsprüfung	99
III.4.4.3.E Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (3a)	100
III.4.4.3.F Ermittlung der fachwissenschaftlich falschen Kanten (3b)	101
III.4.5 Organisation und Durchführung der Erhebungen	102
III.5 Vorstudie	103
III.5.1 Projektstruktur des Biologie-Leistungskurses der Vorstudie	103
III.6 Hauptstudie	105
III.6.1 Projektstruktur des Biologie-Leistungskurses der Hauptstudie	105
III.6.2 Projektstruktur des Projektkurses	107
IV. ERGEBNISSE	109
IV.1 Interesse	109
IV.1.1 Fach- und Berufsinteresse	110
IV.1.1.1 Biologie Leistungskurs	110
IV.1.1.2 Projektkurs	111
IV.1.1.3 Biologie-Leistungskurs und Projektkurs	112
IV.1.2 Zusammenfassung	114

IV.1.3	Aktualisiertes individuelles Interesse und Einflussvariablen	115
IV.1.3.1	Individuelles Interesse und Selbstkonzept (Pre-Test)	116
IV.1.3.2	Interessantheit der Lernumgebung (Post-Test)	118
IV.1.3.2.A	Projektfaktoren	118
IV.1.3.2.B	Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens	123
IV.1.3.3	Prüfung von Mediatorvariablen	128
IV.1.4	Zusammenfassung	129
IV.2	Wissen	130
IV.2.1	Wissensaufbau und Einflussvariablen	131
IV.2.1.1	Selbstkonzept im Fach	133
IV.2.1.2	Interessantheit der Lernumgebung	134
IV.2.1.3	Zusammenhang zwischen Wissen und Interesse an Naturwissenschaften sowie Interesse an Projektthemen	140
IV.2.2	Zusammenfassung	141
IV.3	Wissensentwicklung in einer Domäne	142
IV.3.1	Transkription der Concept Maps	142
IV.3.2	Quantitative Auswertung der transkribierten Concept Maps	152
IV.3.2.1	Grafentheoretische Auswertungen	152
IV.3.2.1.A	Untersuchung der Rolle des Vorwissens für die Wissensentwicklung	154
IV.3.2.2	Bestimmung des individuellen Summenscores	156
IV.3.3	Zusammenfassung	159
IV.3.4	Qualitative Auswertung der transkribierten Concept Maps	160
IV.3.4.1	Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser	160
IV.3.4.2	Fotosynthese und Nährstoffe	160
IV.3.4.3	Respiration des Phytoplanktons	161
IV.3.4.4	Respiration heterotropher Lebewesen	161
IV.3.4.5	Einfache Nahrungskette	162
IV.3.4.6	Mikrobielle Schleife	162
IV.3.4.7	Nährstoffkreisläufe	162
IV.3.4.8	Nitrifikation	163
IV.3.5	Zusammenfassung	164
V.	DISKUSSION	165
V.1	Schulfach- und Berufsinteresse [H.1.1 und H.1.2]	165
V.2	Interesse an Projektthemen mit Einflussvariablen	166
V.2.1	Interesse an Naturwissenschaften [H.2.1]	167
V.2.2	Selbstkonzept im Fach [H.2.2.A und H.2.2.B]	168
V.2.3	Interessantheit der Lernumgebung als Einflussvariable für das Interesse an Projektthemen	169
V.2.3.1	Projektfaktoren [H.2.3.1.A und H.2.3.1.B]	169

V.2.3.2	Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens [H.2.3.2.A und H.2.3.2.B]	172
V.3	Wissen mit Einflussvariablen	176
V.3.1	Interesse an Naturwissenschaften sowie Projektthemen [H.4.A und H.4.B]	177
V.3.2	Zusammenhang zwischen dem Selbstkonzept im Fach und dem Wissen und Verständnis [H.3.3]	178
V.3.3	Zusammenhang zwischen dem Vorwissen und dem Wissen und Verständnis [H.3.1.3]	179
V.3.4	Zusammenhang zwischen der Interessantheit der Lernumgebung und dem Wissen und Verständnis	180
V.3.4.1	Zusammenhang zwischen den Projektfaktoren und dem Wissen und Verständnis [H.3.4.1]	180
V.3.4.2	Zusammenhang zwischen den Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens und dem Wissen und Verständnis [H.3.4.2]	181
V.4	Wissensentwicklung	183
V.4.1	Vorbemerkung zur Begründung von qualitativer und quantitativer Methodik	183
V.4.1.1	Generalisierbarkeit der Ergebnisse	183
V.4.2	Quantitative Untersuchung [H.3.1.1 und H.3.1.2]	188
V.4.3	Qualitative Untersuchung [Forschungsfragen 3.2.1 und 3.2.2]	190
V.5	Zusammenfassung und Ausblick	194
VI.	LITERATURVERZEICHNIS	198
VII.	ANHANG	209
VII.1	Abbildungsverzeichnis	209
VII.2	Tabellenverzeichnis	211
VII.3	Fragebögen	214
VII.3.1	Pre-Test	214
VII.3.2	Post-Test	218
VII.3.2.1	Entferntes Item aus Fragebogen (Post-Test)	222
VII.4	Skalendokumentation (Vorstudie)	223
VII.5	Erstellen eines Concept Maps – Leitfaden für Schüler	233
VII.6	Qualitative Auswertung – Einzel- und Gruppenanalysen	236
VII.6.1	Transkripte und Einzelanalysen	236
VII.6.1.1	Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler ANHE	236
VII.6.1.2	Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler BEUW	239

VII.6.1.3	Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler BIMA	248
VII.6.1.4	Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler CAHA	257
VII.6.1.5	Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler COBE	269
VII.6.1.6	Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler HEHE	277
VII.6.1.7	Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler INFR	287
VII.6.1.8	Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler KIUW	296
VII.6.1.9	Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler ROHA	304
VII.6.1.10	Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler ROHE	313
VII.6.2	Gruppenanalyse	324
VII.6.2.1	Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser	324
VII.6.2.2	Fotosynthese und Nährstoffe	324
VII.6.2.3	Respiration des Phytoplanktons	327
VII.6.2.4	Respiration heterotropher Lebewesen	327
VII.6.2.5	Einfache Nahrungskette	329
VII.6.2.6	Mikrobielle Schleife	330
VII.6.2.7	Nährstoffkreisläufe	331
VII.6.2.8	Nitrifikation	336
VII.6.2.9	Übersicht der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte	337

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
Bio-LK	Biologie Leistungskurs
bzw.	beziehungsweise
CM	Concept Map
DIC	<i>dissolved inorganic carbon</i>
DOC	<i>dissolved organic carbon</i>
etc.	et cetera
IFM-GEOMAR	Leibniz-Institut für Meereswissenschaften an der Universität Kiel
KAN	Kanten (Relationen)
KAN F	fachwissenschaftlich falsche Kanten
KAN R	fachwissenschaftlich richtige Kanten
KNO	Knoten (Begriffe)
KPX	Komplexitätsindex
MZP	Messzeitpunkt
organ.	organisch
N-Verbindung	Stickstoffverbindung
PIC	<i>particular inorganic carbon</i>
POC	<i>particular organic carbon</i>
s. a.	siehe auch
s. o.	siehe oben
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, ein Unterrichtsprojekt zu meeresbiologischen Themen (NaT-Working „Meeresforschung“) zu evaluieren, an dessen Durchführung Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beteiligt waren. Durch den Unterricht in authentischen wissenschaftlichen Kontexten sollte das Interesse der Schülerinnen und Schüler sowie deren Verständnis meeresbiologischer Zusammenhänge gefördert werden. Es stellte sich die Frage, ob diese Unterrichtsziele von NaT-Working „Meeresforschung“ erreicht werden konnten.

Das zugrunde gelegte Interessenkonstrukt stellt eine Zusammenfügung des fachdidaktischen Ansatzes von Hoffmann et al. (1998) und des pädagogisch-psychologischen Ansatzes von Krapp (1992a) dar. Als Maß für das Verständnis wurde die Elaboriertheit und der Grad an Strukturiertheit des Wissens angenommen (Novak, 1990; Glaser, 1991).

Die Stichprobe setzte sich aus einem Biologie-Leistungskurs und einem Projektkurs zusammen, in denen jeweils ein Thema zum Ökosystem Meer fünf bzw. achteinhalb Monate lang bearbeitet wurde. Die Erhebung des Interesses erfolgte in einem Pre-Post-Test Design mit Fragebögen, deren Auswertung inferenzstatistisch durchgeführt wurde. Das Wissen wurde mit einer Concept Map Aufgabe erhoben; die resultierenden Concept Maps wurden mit quantitativen und qualitativen Methoden ausgewertet.

Es zeigte sich, dass mit dem gewählten Unterrichtsansatz das Interesse sowohl an Projektthemen als auch an naturwissenschaftlichen Schulfächern gefördert werden konnte. Das Interesse an Projektthemen stand in einem positiven Zusammenhang mit dem Projektklima und dem Interesse an naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen, speziell an dem Planen und Optimieren von Experimenten. Die Ergebnisse der Untersuchung der Wissensentwicklung unterstreichen die Bedeutung des Vorwissens für die Wissensgenese. In der ersten Hälfte des Projekts zeigte sich eine quantitative Wissenszunahme, die zweite Hälfte war durch eine qualitative Wissensveränderung im Sinne eines tieferen Verständnisses fachlicher Konzepte gekennzeichnet, z. B. über Nahrungsnetze des Ökosystems Ostsee und die Fotosynthese des Phytoplanktons. Die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Interesse und Wissen zeigte, dass das Interesse an Naturwissenschaften in einem positiven Zusammenhang mit dem Aufbau von Wissen steht, nicht aber das Interesse an Projektthemen. Für den Wissensaufbau zeigte sich weiterhin das Interesse an naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen als potenzielle Einflussvariable. Projektfaktoren, wie das Projektmanagement und das selbstbestimmte Handeln im Projekt, zeigten sich als potenzielle Einflussvariable zur Vermeidung von Fehlkonzepten.

Abstract

The aim of the present study was the evaluation of an education project on marine biology (NaT-Working “Oceanography”) where scientists participated as students’ mentors. The education in authentic scientific contexts should enhance both the students’ interest and understanding of marine biological interrelations. The question was whether these educational aims could be achieved by NaT-Working “Oceanography”.

The underlying interest construct represents the fusion of Hoffmann’s et al. (1998) didactic approach and Krapp’s (1992a) pedagogical psychological approach. The elaboration and the degree of composition of the knowledge were assumed to be measures of the students’ understanding.

The sample consisted of an A-level biology course (i. e. an advanced biology course) and a project course which addressed a topic regarding oceanic ecosystems for 5 or 8 ½ months, respectively. The interest was measured through questionnaires in a pre-post test design which were analysed on the basis of statistical inference. A concept map task served as the knowledge test; the resulting concept maps were evaluated by quantitative and qualitative methods.

The results of the analyses show that the educational approach chosen was able to promote the interest in both project matters and scientific school subjects. The interest in project topics was linked to a positive atmosphere in the project and to the interest in scientific thinking and working, in particular the planning and optimisation of experiments. The results of the analysis of the knowledge development emphasise the importance of pre-knowledge for knowledge construction. The first half of the project was characterised by a quantitative increase in knowledge which continued in the form of a qualitative increase in knowledge. By the end of the project, students achieved a sound understanding of scientific concepts, e. g. concerning food networks of the “ecosystem Baltic Sea” and the phytoplankton’s photosynthesis. The investigation of the connection between interest and knowledge showed that the interest in natural sciences is linked to the construction of structural knowledge. However, a connection between the interest in project matters and knowledge could not be established. Additionally, the interest in the modes of scientific thinking and working was shown to be linked to the development of knowledge. Project factors, like the project management or the possibility of self-directing one’s own activities in the project, impeded possibly the development of misconceptions.

I. Einleitung

NaT-Working „Meeresforschung“ ist ein Kooperationsprojekt zwischen Schule und Wissenschaft. Kooperationspartner sind das Leibniz-Institut für Meereswissenschaften an der Universität Kiel (IFM-GEOMAR), der Umweltverein „Hohe Tied“¹ und acht Schulen² mit gymnasialer Oberstufe aus Kiel und der näheren Umgebung. Hauptziel des Projekts ist die Förderung von Interesse an den Naturwissenschaften, speziell der Meereskunde. Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Oberstufe führen unter Beteiligung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern eigene Forschungsprojekte durch und lernen dabei naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen kennen. Möglich ist das in Einzel- und Gruppenprojekten.

Die wissenschaftliche Evaluation von NaT-Working „Meeresforschung“ oblag dem Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN). Wesentlicher Bestandteil der Evaluation war die Kommunikation über Zwischenergebnisse mit den Projektteilnehmerinnen und -teilnehmern.

Zur Entwicklung eines möglichst projektnahen Evaluationskonzepts wurden Ende Februar/Anfang März 2004 Interviews mit den Projektteilnehmerinnen und Projektteilnehmern geführt und ein Schülerprojekt³ vollständig beobachtend begleitet. In den Interviews wurden insbesondere Fragen zum Gegenstand der Kooperation und den verfolgten Zielen, zur Organisationsstruktur der Kooperation, über die Zufriedenheit mit der Zusammenarbeit und Verbesserungswünsche gestellt⁴. Als Voraussetzung für eine erfolgreiche Kooperationsarbeit gelten allgemein ein gemeinsames Zielverständnis und Klarheit über die Aufgabenverteilung (Zachow, 2003). Die geführten Interviews zeigten mehrheitlich übereinstimmende Zieldefinitionen bei den Kooperationspartnerinnen/-partnern. Für alle Beteiligten steht das Wecken von Interesse an Naturwissenschaften, speziell an der Meereskunde, im Mittelpunkt. Insgesamt geht es den Kooperierenden um die Verbindung von Schule und Wissenschaft. Die Lehrkräfte betonen hierbei eher den Praxisbezug des Unterrichts mit Blick auf die Berufsausbildung der Schülerinnen und Schüler, während die außerschulischen Einrichtungen auch die Öffentlichkeitswirksamkeit sehen. Die Kooperation wird organisatorisch durch einen festen Ansprechpartner am IFM-GEOMAR und die kontinuierliche Aktualisierung der Webseiten unterstützt. Hiermit ist eine Organisationsstruktur aufgebaut, in der die gemeinsame Planung der Abläufe für die Umsetzung von Projektangeboten fester Bestandteil ist.

Ausgehend von dem Hauptziel des Projekts, der Interessenförderung der Schülerinnen und Schüler, wurde die Untersuchung der Interessenentwicklung ein Schwerpunkt der Evaluationsstudie. Untersucht wurde das Interesse der Schüler an Naturwissenschaften und Projektthemen sowie das Interesse an naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern und einem naturwissenschaftlichen Beruf. Außerdem galt es potenzielle Einflussvariablen für das Interesse aufzuklären.

¹ Der Verein „Hohe Tied“ ist im November 2005 als fester Kooperationspartner des Projekts NaT-Working „Meeresforschung“ ausgeschieden, um sich wieder hauptsächlich auf die eigenen Vereinsziele konzentrieren zu können.

² Hierbei handelt es sich um sechs Gymnasien, eine Gesamtschule und eine Waldorfschule.

³ Ein Biologie-Leistungskurs des Schuljahres 2003/ 2004 wurde im Rahmen der Vorstudie beobachtend begleitet und zur Validierung der Concept Map Tests genutzt (s. Kap. III.4.3.1 und Kap. III.5.1).

⁴ Interviewleitfaden s. Zachow (2003)

Der zweite Schwerpunkt der Evaluationsstudie war die Untersuchung des Wissens und des Verständnisses, das die Schülerinnen und Schüler in den Projekten erreichen. Weiterhin sollten potenzielle Einflussvariablen für den Wissensaufbau sowie Zusammenhänge zwischen der Interessen- und Wissensentwicklung aufgeklärt werden.

Die Evaluationsstudie diente also zur Analyse der Interessen- und Wissensentwicklung von Schülerinnen und Schülern, die ein Projekt in NaT-Working „Meeresforschung“ durchführen und hatte das Ziel Faktoren (Variablen) des außerschulischen Lernangebots aufzuklären, die im Zusammenhang mit dem Interesse bzw. dem aufgebauten Wissen stehen.

Anmerkung

Für eine bessere Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit im Folgenden die männliche Form gewählt. Es wird darauf hingewiesen, dass selbstverständlich auch weibliche Beteiligte bzw. die weibliche Leserschaft einbezogen sind.

II. Theoretischer Hintergrund

II.1 Interesse

Der vorliegenden Arbeit liegt ein Interessenkonstrukt zugrunde, das eine Verbindung zwischen einem fachdidaktischen und einem pädagogisch-psychologischen Ansatz darstellt. Dabei werden ausgewählte Variablen des fachdidaktischen Interessenkonstrukts mit solchen des pädagogisch-psychologischen Ansatzes verknüpft.

Eine Übersicht über führende Interessentheorien findet sich bei Prenzel (1988a) und Schiefele (1996a). Herbart (1965) wird als Autor der ersten pädagogisch-psychologischen Interessentheorie angesehen. Nach ihm soll Lernen dazu dienen Interessen zu fördern. Kerschensteiner (1922) wird als Autor hervorgehoben, der die geschlossenste und systematischste Interessentheorie seiner Zeit vorgelegt hat. Die Verbindung der persönlichkeits-theoretischen Interessentradition mit unterrichts- und entwicklungspsychologischer Forschung gelingt Todt (1978; 1985). Nach ihm ist Interesse ein dispositionales Persönlichkeitsmerkmal, in dem eine allgemeine und überdauernde Handlungstendenz vorliegt, die auf bestimmte Gegenstands- oder Tätigkeitsbereiche gerichtet ist. Interesse enthält hierin affektive, kognitive und konative Komponenten. In Erweiterung zu Todt wird in späteren Interessenkonstrukten zwischen einem Interesse, das überdauernd und allgemein ist, und einem Interesse, das vorübergehend und spezifisch ist, unterschieden.

Forschung über Interesse und Interessenentwicklung erfolgt in verschiedenen Fachbereichen insbesondere im Zusammenhang mit Lernen (Krapp & Prenzel, 1992; Renninger et al., 1992; Hoffmann et al., 1996; U. Schiefele & Wild, 2000). Die beiden Forschungsansätze zum Interesse, die der vorgelegten Studie zugrunde gelegt sind, werden im Folgenden unter Herausarbeitung der für diese Arbeit relevanten Komponenten vorgestellt.

II.1.1 Pädagogisch-psychologischer Ansatz

In der Psychologie wird dem Interesse zum einen ein Zustandscharakter zugeschrieben (Gefühl, Streben nach etwas u. a.) und zum anderen ein Dispositionscharakter (Einstellung, Persönlichkeitsdisposition u. a.) (Todt, 1990). Ursprünglich gab es zwei Forschungsrichtungen. Vertreter der einen Richtung verstanden unter Interesse eine Disposition eines Individuums, sahen in ihm also ein persönlichkeitspezifisches Merkmal (Todt, 1978; Prenzel et al., 1986; Prenzel, 1988a; Renninger, 1992; Renninger et al., 1992). Nach Auffassung der Vertreter der zweiten Richtung resultiert Interesse aus bestimmten Anreizbedingungen der Lernsituation (Interessantheit), es wird als situationsspezifisches, also situatives Interesse bezeichnet (Hidi & Baird, 1986; Hidi & Anderson, 1992). Krapp hat 1992 beide Ansätze zu einem pädagogisch-psychologischen Interessenkonstrukt verbunden und unterscheidet im Anschluss an Hidi & Baird (1988)⁵ zwischen individuellem (persönlichem) Interesse als Disposition und aktualisiertem individuellen Interesse bzw. situationalem Interesse (Krapp, 1992a; Krapp, 2002a; Krapp, 2002b). Individuelles Interesse repräsentiert persönlichkeitspezifische Wertvorstellungen und Handlungsbereitschaften, die längerfristig wirksam und relativ stabil sind (Renninger et al., 2002). Der Begriff des aktualisierten individuellen

⁵ Hidi und Baird (1988) unterscheiden hier zwischen dem durch Wissen verstärkten Interesse (*knowledge-triggered interest*) und dem durch Werte verstärkten Interesse (*value-triggered interest*) (S. 469).

Interesses bezeichnet solche Interessenausprägungen an einem Gegenstand, die primär aus einem in der Person verankerten (dispositionalen) Interesse resultieren (U. Schiefele, 1991; Krapp et al., 1992; Krapp, 1992a; Köller et al., 2001). Das situationale Interesse wird hingegen von Anreizbedingungen der Lernumgebung bzw. des Lerngegenstandes ausgelöst (Hidi & Baird, 1988; Hidi, 1990; Hidi & Anderson, 1992; Krapp et al., 1992; Hidi, 2000; Köller et al., 2001). Es ist das Interesse an einem bestimmten Gegenstand, der in bestimmten Situationen auftritt, das „nicht unbedingt vom Vorhandensein einer dispositionalen Präferenz für einen bestimmten Gegenstand abhängig ist“ (Krapp, 1992a, S. 749). Das situationale Interesse unterscheidet sich also vom aktualisierten individuellen Interesse durch die Art der Auslösung (s. Abb. 1).

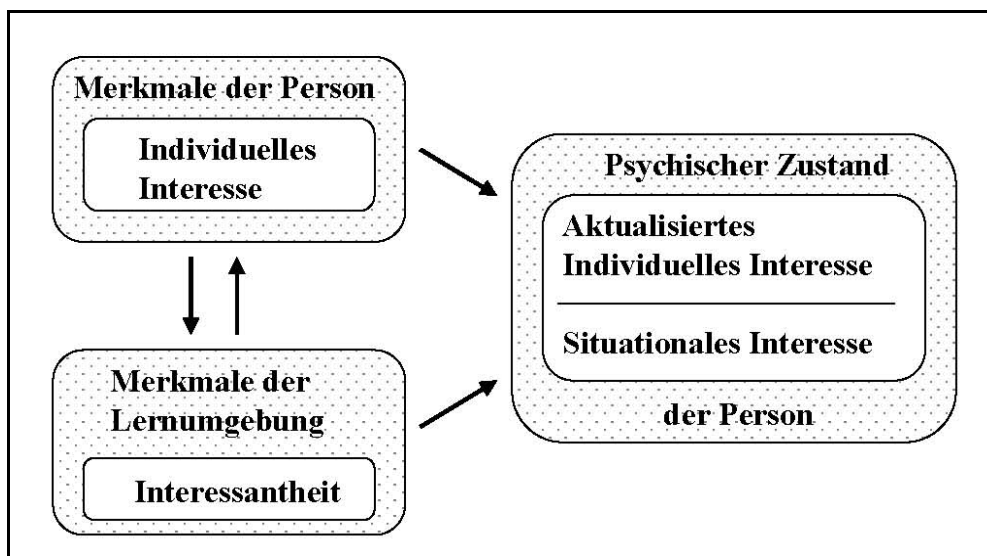


Abb. 1: Relationale Struktur der Bedeutungsvarianten des Interessenkonstrukts
(nach Krapp, 1992a, S. 750, Abb. 1 und Krapp 2002a, S. 406, Abb. 18.1).

Das situationale bzw. das aktualisierte individuelle Interesse, das in einer bestimmten Situation auftritt, kann weiter aufrecht erhalten werden (Hidi & Baird, 1986; Hidi & Baird, 1988; Harackiewicz et al., 2000; Hidi & Harackiewicz, 2000): Wenn eine Person die Beschäftigung mit einem Gegenstand interessant findet, so kann sich dieses situationale bzw. aktualisierte individuelle Interesse zu einem langfristigen individuellen Interesse an diesem Gegenstand entwickeln (Prenzel, 1988a; Mitchell, 1993; Krapp, 1999; Krapp, 2002b; Hidi et al., 2004). Krapp (2002b) stellt hierfür ein Dreistufenmodell vor, in dem er die *catch*- und *hold*-Faktoren von Mitchell (1993), die das situationale Interesse aufrecht erhalten, einbezieht (Mitchell, 1993; Krapp, 1998). Nach Mitchell (1993) erzeugen die *catch*-Faktoren eher kurzfristiges situationales Interesse und die *hold*-Faktoren langfristiges situationales Interesse, woraus sich nach Krapp (2002b) individuelles Interesse ausbilden kann.

Die Person-Gegenstand-Theorie

Krapp (1992b) hat im Anschluss an die theoretischen Arbeiten von H. Schiefele et al. (1983) eine Person-Gegenstand-Theorie des Interesses vorgelegt (Prenzel et al., 1986; Prenzel, 1988a; Fink, 1991; U. Schiefele, 1991; Prenzel, 1992; U. Schiefele, 1996a; Krapp, 1999; U. Schiefele, 2001; Krapp, 2002b; Krapp, 2003b). Sie besteht aus drei Teilen: Den metatheoretischen Prämissen, der Theorie des individuellen Interesses und der Theorie der Interessenhandlung. Die metatheoretischen Prämissen umfassen die Festlegung der wechselseitigen Abhängigkeit von Person und Umwelt, die Annahme reflexiver Handlungskompetenzen des Menschen, die Annahme des individuellen Selbst mit motivationaler Basis und das Postulat der grundlegenden Bedürfnisse des Menschen nach Selbstbestimmung, Kompetenzerfahrung und sozialer Eingebundenheit (Deci & Ryan, 1985; Deci & Ryan, 1993; Deci & Ryan, 2000; Ryan & Deci, 2000; Deci & Ryan, 2002; Krapp & Ryan, 2002). Es wird also angenommen, dass sich im Laufe der Interessenentwicklung bestimmte Vorlieben für Handlungs- und Wissensbereiche herausbilden. In der Interesse geleiteten Auseinandersetzung mit einem Gegenstand entwickelt das Individuum eine zunehmend ausdifferenzierte Wissensstruktur über den Gegenstand von Interesse (deklaratives Wissen) und die damit realisierten Handlungsmöglichkeiten (prozedurales Wissen) (s. Krapp, 1992a). In Abgrenzung zu anderen Motivationskonzepten bezieht sich Interesse nach diesem pädagogisch-psychologischen Ansatz immer auf eine bestimmte Person-Umwelt-Relation (U. Schiefele, 1991; Renninger, 2000).

Individuelle Ausprägungen des Interesses

Interesse ist in der relationalen Struktur von Krapp (1992a, 2002a) (s. Abb. 1) individuell verschieden ausgeprägt. Es beinhaltet Komponenten, die miteinander in Beziehung stehen. Das sind (1) emotionale, (2) kognitive und epistemische Komponenten sowie (3) Wertaspekte (Prenzel, 1988a; U. Schiefele, 1992; Krapp, 1992b; Mitchell, 1993; U. Schiefele & Krapp, 1996; U. Schiefele, 1999). Diese Komponenten stehen sowohl miteinander in Beziehung als auch mit dem Gegenstand bzw. der Wissensdomäne⁶ und können als kognitiv repräsentierte Beziehungen zwischen dem Gegenstand bzw. der Wissensdomäne und dem Interesse daran angesehen werden (U. Schiefele & Rheinberg, 1997).

(1) Emotionale Komponenten beinhalten gefühlsmäßige Relationen zum Gegenstand (Prenzel, 1988a). Die Interesse geleitete Tätigkeit ist von Gefühlen begleitet (Prenzel, 1988a; U. Schiefele, 1992; U. Schiefele & Krapp, 1996).

(2) Kognitive und epistemische Komponenten können auf verschiedene Arten in den Interessenbegriff eingeordnet werden: „[...] als Erfassen und Erkennen des Gegenstandes, als kognitive Aktivität beim Handeln mit dem Gegenstand, als Resultat von „Interesse“, das sich in den Kognitionen einer Person niederschlägt, als Zielrichtung (z. B. Erkennen)“ (Prenzel, 1988a, S. 37). In der kognitiven und epistemischen Komponente zeigt sich Interesse als eine Tendenz zur Erweiterung des Wissens (Prenzel & Krapp, 1992) und wird im Folgenden als epistemische Komponente des Interesses bezeichnet (W. Kintsch, 1980; Renninger et al., 2002; Krapp, 2002a). Der Zusammenhang zwischen Interesse und Wissen bzw. Lernen wird in Kap. II.3 ausgeführt. An dieser Stelle soll nur darauf hingewiesen werden, dass Interesse

⁶ Dieser Gegenstandsbezug (Person-Gegenstand-Theorie) ist die entscheidende Abgrenzung des Interessenkonstrukts zum Motivationskonstrukt (Deci & Ryan, 1985; U. Schiefele & Rheinberg, 1997).

den Aufbau eines komplexen, differenzierten und integrierten Wissens über den Gegenstand fördern kann (Uhrhahne, 2002).

(3) Die Wertaspekte beinhalten Kompetenzempfindungen, die bei einer Handlung auftreten (Deci & Ryan, 1993; Deci & Ryan, 2002; Krapp & Ryan, 2002).

Bezug zur vorgelegten Studie

Der vorliegenden Studie werden ausgewählte Komponenten der relationalen Struktur des Interessenkonstrukts nach Krapp (1992a, 2002a) zugrunde gelegt: Das individuelle Interesse, das aktualisierte individuelle Interesse und die Interessantheit der Lernumgebung, außerdem Handlungsmöglichkeiten in der Lernumgebung. Der Fokus liegt auf den individuellen Ausprägungen des epistemischen Interesses.

II.1.2 Fachdidaktischer Ansatz

Ziel des fachdidaktischen Ansatzes von Hoffmann et al. (1998) war die Aufklärung der Interessenentwicklung im Fach Physik bei Schülern über sechs Klassenstufen (5. bis zur 10. Klasse). Dabei wurden hypothetische Zusammenhänge zwischen den Interessenvariablen und Hintergrundvariablen in einem Modell formuliert (s. Abb. 2).

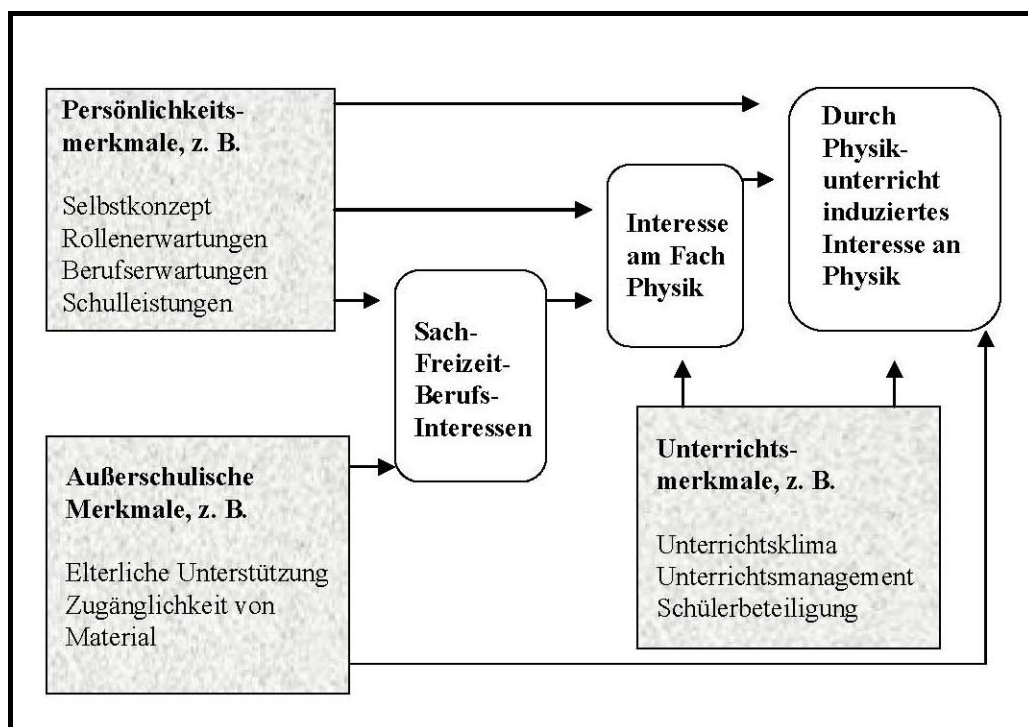


Abb. 2: Hypothetischer Zusammenhang zwischen den Interessenvariablen und Einflussvariablen des fachdidaktischen Ansatzes

Die Interessenvariablen sind in runden Kästen platziert und die Einflussvariablen in eckigen Kästen; nach Hoffmann et al., 1998, S. 108, Abb. 6.1.

Das Interessenkonstrukt von Hoffmann et al. (1998) umfasst fünf **Interessenvariablen** (s. Abb. 2): Freizeitinteresse, Berufsinteresse, Interesse am Fach Physik, durch Fachunterricht induziertes Interesse an Physik und Sachinteresse. Das Sachinteresse umfasst die drei

Dimensionen: Kontext, Gebiet und Tätigkeiten (Hoffmann & Lehrke, 1986; Häußler & Hoffmann, 1995). Die Operationalisierung dieser Dimensionen erfolgte erstmals anhand einer curricularen Delphi-Studie zur physikalischen Bildung (Häußler et al., 1980).

Die **Hintergrundvariablen** (s. Abb. 2) für die Interessenvariablen sind Persönlichkeitsmerkmale (fachbezogenes Selbstkonzept, Rollenerwartung, Berufserwartung, Schulleistung), außerschulische Merkmale (elterliche Unterstützung, Zugänglichkeit von Material) und Unterrichtsmerkmale (Unterrichtsklima, Unterrichtsmanagement, Schülerbeteiligung, innere und äußere Kohärenz).

Das Sachinteresse

Die Untersuchung des Sachinteresses war ein Schwerpunkt der Studie von Hoffmann et al. (1998). Die Autoren wählten dafür acht Gebiete (Inhalte), sieben Kontexte und vier Tätigkeitsbereiche aus (s. Hoffmann et al., 1998, S. 27, Tab. 4.3). Es zeigte sich, dass für das Interesse an Gebieten (Inhalten) die Kontexte, in welche die Gebiete eingebettet sind, wichtig sind (Rolbitzki, 1983; Hoffmann & Lehrke, 1986; Lehrke, 1988; Todt & Händel, 1988). Weiterhin zeigte sich, dass das Interesse an Gebieten aus der Physik verschieden ausgeprägt sein kann. Zusätzlich ergab sich, dass Tätigkeiten, die eine Person bei der Beschäftigung mit einem Inhalt ausführt, einen Einfluss auf das Interesse haben (Bauhardt, 1990; Berck & Klee, 1992; Hoffmann et al., 1998). Fink (1991) unterstreicht die Bedeutung der Tätigkeiten als echte Interessengegenstände. Hoffmann et al. (1998) berücksichtigten vier Tätigkeitskategorien (Details s. Hoffmann et al., 1998, S. 27, Tab. 4.4). Zur Erhebung des Sachinteresses kreuzten die Autoren in insgesamt 88 Items Kontexte und Tätigkeiten für jedes der acht Gebiete. Dabei wurden alle Tätigkeiten der Kategorie T1 (Rezeptive Tätigkeiten) mit allen Kategorien der Kontexte gekreuzt und weiterhin ausgewählte Kategorien der Tätigkeiten (T2-T4) und Kontexte (K2, K5, K6 und K7) (Details s. Hoffmann et al., 1998, S. 27ff.).

Hoffmann et al. (1998) stellten eine Abnahme des untersuchten Sachinteresses in Physik mit zunehmendem Alter der Schüler (5. bis zur 10. Klassenstufe) fest.

Auf der Basis von Mittelwertvergleichen der Einzelitems zeigten sich große Unterschiede bei den Schülern bezüglich des Einflusses verschiedener Kontexte und Tätigkeiten innerhalb eines Themas. Hierbei ließen sich unabhängig vom Thema Präferenzen feststellen. So zeigte sich die Anbindung der Inhalte an Alltagserfahrungen mittels Beispielen aus der Lebenswelt der Schüler als interesselördernd (s. Hoffmann et al., 1998, S. 31). Die gleiche Wirkung zeigte die Berücksichtigung von Anwendungsbezügen: „Das Entdecken oder Nachvollziehen von Gesetzmäßigkeiten um ihrer selbst willen wird als wenig interessant empfunden. [...] Das Interesse steigt, wenn ein Anwendungsbezug [...] hergestellt wird“ (Hoffmann et al., 1998, S. 31).

Untersuchung der einzelnen Dimensionen des Sachinteresses

Die Autoren untersuchten zusätzlich die Skalen der einzelnen Dimensionen (Tätigkeiten, Kontexten und Gebieten) des Sachinteresses, um Variablenkonfundierungen auszuschließen. Die Auswertung dieser zusätzlichen Skalen zielte auf die Erfassung des Interesses an Tätigkeiten, Kontexten und Gebieten, die im Unterricht aus der Sicht der Schüler über- oder unterrepräsentiert sind. Für das Interesse an Tätigkeiten fanden die Autoren, dass den Schülern reproduktive Tätigkeiten im Physikunterricht überrepräsentiert erscheinen, ebenso kognitiv anspruchsvolle Tätigkeiten, wie etwas zu berechnen und Vermutungen zu prüfen. Unterrepräsentiert sind nach Schülermeinungen bewertende Tätigkeiten. Dabei zeigte sich, dass ein hohes Interesse auf ein geringes Angebot im Unterricht stößt (s. Hoffmann et al., 1998, S. 55).

Ausgewählte Skalen der Persönlichkeits- und Unterrichtsmerkmale

Im Folgenden werden die Skalen von Hoffmann et al. (1998) näher erläutert, welche in der vorliegenden Studie in die Untersuchung der Persönlichkeitsmerkmale und der Merkmale der Lernumgebung eingeflossen sind.

Das Selbstkonzept (10 Items, $\alpha = 0.90$):

Hoffmann et al. (1998) untersuchten das fachbezogene Selbstkonzept von Schülern als Hintergrundvariable für ihre Interessevariablen. In ihrer Studie zeigte sich eine besonders ausgeprägte Vorhersagestärke des Selbstkonzepts für die Entwicklung von Fachinteresse, Freizeitinteresse und Berufsinteresse.

Der Begriff *Selbstkonzept* wird in der Literatur sehr unterschiedlich definiert (Bracken, 1996). Nach Helmke (1992) basiert das Selbstkonzept auf Ergebnissen informationsverarbeitender Prozesse, die im Langzeitgedächtnis repräsentiert sind. Er versteht demzufolge unter Selbstkonzept die aus einem entsprechenden deklarativen Wissen hervorgehende Einschätzung der eigenen Leistungsfähigkeit (Helmke, 1992, S. 20). Dabei wird zwischen einem generellen Selbstkonzept und einem spezifischen, also bereichsspezifischen oder situationsspezifischen Selbstkonzept unterschieden.

Hoffmann et al. (1998) untersuchten ein bereichsspezifisches Selbstkonzept und zwar das fachbezogene Selbstkonzept von Schülern. Ein Bestandteil dieses Selbstkonzepts ist das Selbstvertrauen der Schüler in Bezug auf ein Schulfach (Fend et al., 1976). Zur Beschreibung von Selbstvertrauen als dispositional aufgefasste, subjektive Befindlichkeit von Schülern können vier Merkmale herangezogen werden: Erfolgszuversicht und Selbstwertgefühl bzw. Hoffnungslosigkeit und Ängstlichkeit (Fend et al., 1976; Schwarzer, 1979). Hoffmann et al. (1998) berücksichtigten in ihrer Skala zur Untersuchung des Selbstkonzepts die (1) Erfolgszuversicht und die (2) Hoffnungslosigkeit der Schüler.

(1) „Mit Erfolgszuversicht ist eine kognitive Komponente der Motivation gemeint. Der Schüler antizipiert Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeit und hegt bestimmte Erwartungen bezüglich seiner subjektiven Lösungswahrscheinlichkeit“ (Schwarzer, 1979, S. 182).

(2) Unter „Hoffnungslosigkeit ist der subjektiv erlebte Verlust an Kontrolle über die Umwelt gemeint. [...] Der Schüler nimmt sein eigenes Handeln bzw. seine Situation als mehr oder

weniger fremd- und selbstgesteuert wahr. External determiniert wahrgenommenes Handeln erzeugt ein Gefühl individueller Ohnmacht (Kontrollverlust)“ (Schwarzer, 1979, S. 182).

Eine Spezifizierung des Selbstvertrauens ist das leistungsbezogene Selbstvertrauen. Es kann als eine schulleistungsrelevante, motivationale Variable angesehen werden (Helmke, 1992) und setzt sich aus drei Facetten zusammen: Dem sozialen Vergleich, der Zukunftsperspektive und der Einschätzung der Möglichkeit externe Anforderungen zu bewältigen (Helmke, 1992, S. 74-75).

Die Unterrichtsmerkmale

Die Unterrichtsmerkmale wurden von Hoffmann et al. (1998) ausgehend von Littig und von Saldern (1983) untersucht. Sie bezogen sich u. a. auf das methodische Vorgehen im Unterricht, die Schülerbeteiligung, die Interaktion zwischen Lehrer und Schüler und die Schwierigkeiten bezüglich der Verständlichkeit des Unterrichts (s. Hoffmann et al., 1998, S. 81f.). Es zeigten sich vier Faktoren. (1) Das „Interesse stimulierende Unterrichtsklima“ (9 Items, $\alpha = 0.89$), (2) die „innere und äußere Kohärenz des Unterrichts“ (9 Items, $\alpha = 0.84$), (3) das „schlechte Unterrichtsmanagement“ (9 Items, $\alpha = 0.72$) und (4) das „Eingehen auf Schülerfragen und -wünsche“ (4 Items, $\alpha = 0.74$). Unter den Unterrichtsmerkmalen zeigte sich das „Interesse stimulierende Unterrichtsklima“ als signifikante Vorhersagevariable für die Entwicklung von „Interesse am Fach Physik“ und dem „durch den Physikunterricht induzierten Interesse an Physik“. Auch Eder (1992) konnte zeigen, dass positive Klimaschutzerfahrungen⁷ zur Verstärkung schultypnaher Interessen führen. Positiv erlebte Begleitumstände in einer Lernsituation können Interesse aufrechterhalten und fördern (Prenzel, 1988a).

Im Folgenden wird ausgeführt, was unter der *inneren und äußeren Kohärenz* des Unterrichts zu verstehen ist. Das erfolgt mit Blick auf die Adaptierung an die vorliegende Studie über eine außerschulische Lernumgebung.

Eine Definition für Kohärenz findet sich z. B. bei Kintsch & van Dijck (1978) in Bezug auf das Textlesen. Demnach basiert Kohärenz auf der Verknüpfung von mentalen Einheiten im Kopf eines Lesers (Schnotz, 1994). Ein Text ist dann kohärent, wenn sich diese mentalen Einheiten des Lesers zu einem zusammenhängenden Ganzen verknüpfen lassen. Textkohärenz ist dabei keine Eigenschaft, die einen Text charakterisiert, sondern sie existiert im Rahmen eines kommunikativen Prozesses zwischen Autor und Leser. Abgesehen von Lernen mit Texten können auch Lernprozesse im Unterricht, wie von Hoffmann et al. (1998), oder in einem Lernprojekt, wie in der vorliegenden Studie, bezüglich ihrer Kohärenzbildung geprüft werden. Ein Unterricht ist genau dann kohärent, wenn der Lernende Einzelteile eines Wissensbereiches komplementär zusammenbringen kann. Dafür muss der Lernende diese Einzelteile im Unterricht bzw. im außerschulischen Lernprojekt derartig erleben bzw. vermittelt bekommen, dass ihm dieser Komplementärprozess möglich ist.

Die innere Kohärenz bezieht sich auf das Zusammenbringen von Einzelteilen der Wissensbereiche, die im Unterricht bzw. im Lernprojekt behandelt werden. Die äußere Kohärenz bezieht die Wissensbereiche der Lebenswelt der Lernenden mit ein.

⁷ Das Schulklima wird von Eder (1989) mit dem Linzer-Fragebogen erhoben, der vier Dimensionen erfasst: Sozial- und Leistungsdruck, Schülerzentriertheit, Kohäsion und Disziplin.

Notwendige Adaptationen für die vorgelegte Studie

Aus dem Forschungsansatz von Hoffmann et al. (1998) wurden ausgewählte Skalen in die vorgelegte Studie übernommen⁸. Diese Auswahl wird im Folgenden begründet.

Kürzungen erfolgten aus Gründen (1) des Untersuchungszeitraumes, (2) der Stichprobengröße und (3) der zu untersuchenden Inhalte. Gründe für die Erweiterung ergaben sich aus der Dimension „Tätigkeiten“ des Sachinteresses (Kap. II.1.2).

(1) Untersuchungszeitraum

Hoffmann et al. (1998) hatten die Möglichkeit ihre Studie auf sechs Jahre anzulegen. Die Entwicklung des Erhebungsinstrumentariums geht zurück auf eine davor durchgeführte umfassende Delphi-Studie. Das Projekt *Evaluation NaT-Working „Meeresforschung“* ist dagegen zeitlich begrenzt auf drei Jahre.

(2) Stichprobengröße

Hoffmann et al. (1998) stand eine große Stichprobe zur Verfügung, die spezifische statistische Auswertungsverfahren ermöglicht. Die Stichprobe der vorliegenden Studie war deutlich kleiner, weshalb z. B. faktorenanalytische Auswertungen, wie sie zum Sachinteresse von Hoffmann et al. (1998) durchgeführt wurden, nicht zulässig waren. Es konnte aber auf bestimmte Ergebnisse von Hoffmann et al. (1998) aufgebaut werden, so dass die Daten der kleineren Stichprobe dennoch statistisch abgesichert werden konnten.

(3) Inhalte

Hoffmann et al. (1998) konnten die Inhalte des Unterrichts im Detail im Voraus planen, da sie sich auf den Lehrplan beziehen konnten. Die Projekte in NaT-Working „Meeresforschung“ sind inhaltlich verschieden und werden in der Regel nicht wiederholt. Die Unterrichtsinhalte sind immer relativ und daher vom Lehrplan nicht abgesichert. Sie sind somit nicht vollständig im Voraus planbar. Das gilt jedoch nicht für die Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens in authentischer Lernumgebung. Diese sind gemeinsamer Bestandteil aller NaT-Working Projekte. Somit konnte das Interesse an diesen Tätigkeiten im Detail untersucht werden.

Tätigkeiten⁹ naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens sind die Grundlage naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. Im Folgenden wird die Bedeutung dieser Tätigkeiten und damit die Begründung für eine umfangreiche Einbindung der Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens in die Studie ausgeführt.

⁸ Die Skalen wurden inhaltlich an die Bedingungen der vorliegenden Studie adaptiert. Details s. Skalendokumentation.

⁹ Diese Tätigkeiten beinhalten sowohl kognitive Tätigkeiten als auch *hands on* Tätigkeiten, die mit den Händen durchgeführt werden.

II.1.3 Naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten

Naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten ist die Grundlage naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. In den naturwissenschaftlichen Fächern werden Experimente zur Vermittlung eines Verständnisses naturwissenschaftlicher Erkenntnis- und Arbeitsweisen sowie zur Förderung praktischer Fähigkeiten eingesetzt (Welzel et al., 1998). Dass dieses im Schulunterricht nur eingeschränkt gelingt, belegen die Ergebnisse von TIMSS und PISA. Hiernach ist ein Verständnis experimentellen Arbeitens und naturwissenschaftlichen Argumentierens bei relativ wenigen deutschen Schülern entwickelt. „Die Prinzipien selbst einfachster experimenteller Anordnungen verstehen bis zum Ende der 8. Klasse nach den Befunden von TIMSS nur etwa 10 bis 15 Prozent eines Jahrganges“ (Baumert & Lehmann, 1997, S. 86). In NaT-Working „Meeresforschung“ soll das Interesse der Schüler an Naturwissenschaften in authentischer Lernumgebung mit der Bearbeitung ausgewählter naturwissenschaftlicher Inhalte gefördert werden. In der begleitenden Evaluationsstudie, die hier vorgelegt ist, wurde somit die epistemische Komponente des Interesses untersucht (s. Kap. II.1.1), die den interessegeleiteten Aufbau von Wissen beinhaltet. Da naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung, also die Wissensgenese, mithilfe naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen erfolgt, ist auch das Interesse an diesen Tätigkeiten für die Studie bedeutsam. Hoffmann et al. (1998) haben mit der Untersuchung des Sachinteresses die Tätigkeitskomponente als Handlungskomponente, welche sich aus kognitiven und so genannten *hands on* Tätigkeiten (z. B. die Arbeit mit Laborgeräten) naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen zusammensetzt, als relevante Komponente des Interesses herausgearbeitet.

Klahr (2000) hat ein kognitives Kompetenzmodell der Erkenntnisgewinnung mittels Experimentieren aufgestellt. Komponenten dieses Modells können zur Präzisierung der kognitiven Komponente der Dimension „Tätigkeiten“ im Sachinteresse von Hoffmann et al. (1998) dienen und wurden deshalb in die Untersuchung der Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens in die vorliegende Studie aufgenommen.

Im Folgenden wird das Modell über die Kompetenz des Experimentierens von Klahr (2000) kurz vorgestellt. Dann wird die empirische Validierung zusammengefasst, die Hoffmann et al. (1998) für die Kategorien der Dimension „Tätigkeiten“ des Sachinteresses vorgelegt haben. Anschließend werden theoretische Überlegungen ausgeführt, in denen die Komponenten des kognitiven Modells von Klahr in eine Untersuchung der Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens integriert werden können. Auf der Basis dieser theoretischen Überlegungen können die von Hoffmann et al. (1998) begonnenen Untersuchungen über solche Tätigkeiten präzisiert und fortgeführt werden.

Kognitives Kompetenzmodell des Experimentierens

Wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung mittels Experimenten kann nach Klahr (2000) als komplexer Problemlösungsprozess interpretiert werden. Sein Modell bezieht sich ausschließlich auf die kognitive Komponente der Erkenntnisgewinnung mittels Experimentieren. Die Kompetenz des Experimentierens setzt sich nach Klahr (2000) aus drei Komponenten zusammen: Dem Hypothesen-Suchraum, dem Experimentier-Suchraum und dem Bewerten von Evidenzen als dritte Komponente, die zwischen den ersten beiden vermittelt.

Der Hypothesen-Suchraum beinhaltet den Prozess der Hypothesen-Generierung, was Klahr (2000) als eine Art des Problemlösens ansieht. Es werden allgemeine und differenziertere Hypothesen auf der Grundlage von domänenspezifischem Vorwissen bzw. von vorliegenden experimentellen Daten formuliert. Neben der Hypothesenbildung gehört deren Plausibilitätsprüfung mit in den Hypothesen-Suchraum.

Der Experimentier-Suchraum beinhaltet das Planen von Experimenten und den Umgang mit Variablen, die in Bezug auf die Hypothesen interpretiert wurden. Auch hier ist domänenspezifisches Wissen erforderlich.

Die dritte Komponente, die Bewertung von Evidenzen (*Evaluate Evidence*) vermittelt zwischen dem Hypothesen- und Experimentier-Suchraum. Auf der Grundlage von Evidenzen aus den Experimenten werden Hypothesen angenommen oder abgelehnt bzw. neue Hypothesen formuliert.

Dimension „Tätigkeiten“ des Sachinteresses

Hoffmann et al. (1998) haben mit der Untersuchung des Sachinteresses die Tätigkeitsdimension als Handlungskomponente des Interesses operationalisiert (s. S. 14). Sie formulierten vier Kategorien zur Untersuchung der Dimension „Tätigkeiten“:

- T1. „rezeptive Tätigkeiten (beobachten, lesen, zuhören)“,
- T2. „praktisch-konstruktive Tätigkeiten (etwas bauen, Versuche durchführen)“,
- T3. „theoretisch-konstruktive Tätigkeiten (sich etwas ausdenken, etwas berechnen)“ und
- T4. „bewertende Tätigkeiten (sich eine Meinung bilden, den Nutzen beurteilen)“.

In den Kategorien T1 und T3 werden also Interessen an kognitiven bzw. epistemischen Tätigkeiten und in der Kategorie T2 entsprechend Interessen an so genannten *hands on* Tätigkeiten (z. B. die Arbeit mit Laborgeräten) erhoben. In der Kategorie T4 werden Interessen an bewertenden Tätigkeiten operationalisiert.

In der faktorenanalytischen Auswertung des Sachinteresses konnten von den vier im Fragebogen variierten Tätigkeiten nur drei Faktoren reproduziert werden (s. Hoffmann et al., 1998, S. 40ff.). Das sind die Kategorien T2 bis T4. Außerdem verengte sich das Spektrum der „theoretisch-konstruktiven Tätigkeiten (T3)“ deutlich. Diese Kategorie reduzierte sich auf „etwas berechnen“ (Hoffmann et al., 1998, S. 42-43). In einer zusätzlichen Analyse untersuchten die Autoren die Dimensionen des Sachinteresses (Gebiete, Kontexte und Tätigkeiten) separat, unter anderem um Variablenkonfundierungen auszuschließen. Eine faktorenanalytische Absicherung der Kategorien blieb jedoch aus. Das bedeutet, dass es bisher keine empirische Absicherung ihrer postulierten Interessenkategorien zu Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens gibt.

Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens

Zur Untersuchung der Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens können diejenigen Kategorien von Hoffmann et al. (1998) herangezogen werden, die sich in der faktorenanalytischen Auswertung des Sachinteresses, also in Kombination mit Kontexten und Gebieten der Physik, empirisch bestätigten¹⁰.

T2. „praktisch-konstruktive Tätigkeiten (etwas bauen, Versuche durchführen)“,

T3. „theoretisch-konstruktive Tätigkeiten (reduziert auf „etwas berechnen“)“,

T4. „bewertende Tätigkeiten (sich eine Meinung bilden, den Nutzen beurteilen)“.

Eine empirische Absicherung der einzelnen Dimensionen des Sachinteresses, also auch der Kategorien des Interesses an Tätigkeiten, ist noch nicht durchgeführt worden.

Die Komponenten des kognitiven Kompetenzmodells zum Experimentieren von Klahr (2000) können theoretisch zur Präzisierung der Kategorie T3 herangezogen werden. In der Kategorie T3 geht es um die kognitive Gestaltung und Durchführung naturwissenschaftlicher Analysen, die sich in der Operationalisierung von Hoffmann et al. (1998) empirisch nur sehr reduziert wiederfindet (in „etwas berechnen“). Die praktischen Tätigkeiten, also die *hands on* Tätigkeiten werden in der zweiten Kategorie (T2) berücksichtigt und die bewertenden Beschäftigungen mit Daten und Inhalten werden in der Kategorie (T3) operationalisiert.

Für die vorliegende Studie, in der die Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens untersucht werden sollen, ergeben sich die folgenden Kategorien, die ausgehend von der Studie von Hoffmann et al. (1998) und dem kognitiven Kompetenzmodell von Klahr (2000) operationalisiert werden können.

I. Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie

In dieser Kategorie werden Tätigkeiten untersucht, die auf der kognitiven Beschäftigung mit der Theorie basieren, z. B. einen Vortrag anzuhören oder sich Fachwissen selbstständig anzueignen.

II. Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten

In dieser Kategorie werden ebenfalls Tätigkeiten untersucht, die kognitiv ablaufen, jedoch beziehen sich diese kognitiven Prozesse nicht auf die einfache Beschäftigung mit einem Inhalt, sondern auf die kognitive Beschäftigung mit naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen, die im Rahmen einer Erkenntnisgewinnung mittels Experimentieren relevant sind. Zur Präzisierung der Operationalisierung des „Interesses an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten“ werden die drei Komponenten des Kompetenzmodells des Experimentierens (Klahr, 2000) als theoretischer Hintergrund genutzt. Die Komponente „Bewerten von Evidenzen“ wird einbezogen. Eine separate Kategorie, wie sie Hoffmann et al. (1998) in (T4) „bewertende Tätigkeiten“ aufgenommen haben, entfällt damit.

In einer dritten Kategorie wird das Interesse an praktischen Tätigkeiten erhoben:

III. Interesse an instrumentellen Tätigkeiten

In dieser Kategorie werden Interessen an Tätigkeiten untersucht, welche einen direkten Umgang mit Geräten, Modellen u. a. beinhalten, also so genannte *hands on* Tätigkeiten.

¹⁰ Die Kategorie T1 „rezeptive Tätigkeiten (beobachten, lesen, zuhören)“ kann empirisch nicht als Faktor bestätigt werden (s. Hoffmann et al., 1998, S. 43).

II.1.4 Zusammenfassung

In dem pädagogisch-psychologischen Ansatz zur Interessenforschung stellt Krapp (1992a, 2002a) eine relationale Struktur der Bedeutungsvarianten des Interessenkonstrukts vor, in der individuelles Interesse als Charakteristik einer Person, Interessantheit als Charakteristik einer Lernumgebung und aktualisiertes individuelles Interesse bzw. situationales Interesse als gegenwärtiger psychologischer Zustand einer Person in wechselseitiger Beziehung zueinander stehen. Hoffmann et al. (1998) formulieren ein Modell zur Interessenforschung in der Fachdidaktik Physik, in dem sie Zusammenhänge zwischen Interessenvariablen und Hintergrundvariablen vorschlagen und teilweise empirisch bestätigen können. So zeigte sich das Persönlichkeitsmerkmal - das fachliche Selbstkonzept – als dominierende Vorhersagevariable für Interesse. Hoffmann et al. (1998) konnten Zusammenhänge zwischen den untersuchten Unterrichtsmerkmalen und Interessenvariablen finden, dabei zeigte sich das „Interesse stimulierende Unterrichtsklima“ als besonders bedeutsam für die Interessenausprägung.

Erkenntnisgewinnung basiert in den Naturwissenschaften auf Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen. Da Tätigkeiten, die eine Person bei der Beschäftigung mit einem Inhalt ausführt, einen Einfluss auf das Interesse an dem Inhalt haben (Bauhardt, 1990; Berck & Klee, 1992), können sie zur Interessenförderung beitragen. Die Untersuchung des Sachinteresses von Hoffmann et al. (1998) bezog, neben verschiedenen Kontexten und Gebieten der Physik, das Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung mittels Experimentieren mit vier Kategorien ein. Da in der vorliegenden Arbeit das Interesse von Schülern an Naturwissenschaften und Projektthemen untersucht werden sollte, wurden auch die Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen einbezogen. Dafür wurden zunächst Theorie geleitet Kategorien formuliert, die sich an die Kategorien der Dimension „Tätigkeit“ des Sachinteresses von Hoffmann et al. (1998) anlehnen, mit dem Ziel diese zu präzisieren und empirisch zu validieren. Es wurden drei Kategorien berücksichtigt:

- I. Das Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie,**
- II. das Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten und**
- III. das Interesse an instrumentellen Tätigkeiten.**

Für die Präzisierung des Interesses an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (II.) wurden Komponenten, die Klahr (2000) in seinem kognitiven Modell zur Kompetenz des Experimentierens formuliert hat, einbezogen. Sein Modell setzt sich aus drei Komponenten zusammen, dem Hypothesen-Suchraum und dem Experimentier-Suchraum, die durch das Bewerten von Evidenzen vermittelt werden. Dieses kognitive Modell wurde in der vorliegenden Studie des Interesses berücksichtigt.

II.2 Wissen und Verständnis

Der Aufbau von Wissen und die Entwicklung von Verständnis in einer Domäne setzen einen Lernprozess voraus. Das über diesen Lernprozess angeeignete Wissen ist im Gehirn gespeichert. Die Untersuchung von Wissen kann nur mithilfe externaler Abbildungen des im Gehirn gespeicherten Wissens erfolgen. Zur Wissensdiagnose ist somit zunächst eine Definition des zu messenden Wissens erforderlich. Das Messinstrument sowie die daran geknüpften Auswertungsverfahren bestimmen die Art des gemessenen Wissens. Die Wahl des Messinstruments wird davon bestimmt, welches Wissen untersucht werden soll. Im Folgenden wird zunächst das theoretische Konzept über Lernprozesse vorgestellt, das der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegt wird. In Kap. II.2.1 folgt die Konzeptualisierung des zu untersuchenden Wissens und Verständnisses. Daran schließt sich in Kap. II.2.2 die Theoriebasis und die begründete Auswahl des Wissensdiagnoseinstruments [Concept Maps (Begriffsnetze)] an.

Lernprozesse

Der vorgelegten Studie liegt ein konstruktivistisches Verständnis des Lernens zugrunde (Novak, 1990; Gerstenmaier & Mandl, 1995; Mintzes & Wandersee, 1998), das zurückgeht auf Ausubels Assimilationstheorie (Ausubel, 1968; Ausubel et al., 1978) und Vygotsky (1896-1934), der das Lernen als Interaktion zwischen biologischer und sozialer Entwicklung betrachtet.

Eine Gemeinsamkeit der verschiedenen Konstruktivismustheorien ist, dass konstruktive Prozesse beim Zugang zur Wirklichkeit behandelt werden (Flick, 2004). Nach Jean Piaget (1929; 1972) werden Erkennen, Wahrnehmung der Welt und das Wissen über die Welt als Konstruktionen verstanden. Nach dem radikalen Konstruktivismus (Glaserfeld, 1996) sind Erkenntnisse aufgrund der neurobiologischen Prozesse nur Bilder der Welt im Kopf, jedoch ohne direkten Zugang zur Welt. Der soziale Konstruktivismus fragt nach dem Einfluss der sozialen Umwelt auf die Wahrnehmung und das Wissen im Alltag (Schütz, 1971). Wissensbildung ist nicht als reine Abbildung gegebener Fakten zu verstehen, sondern als aktiver Herstellungsprozess, in dem die Inhalte konstruiert werden (Schütz, 1971). Mintzes und Wandersee (1998) unterscheiden in Anlehnung an Ausubels Assimilationstheorie zwischen *meaningful learning*, also bedeutungsvollem Lernen, und *rote learning*, also Routinelernen bzw. Auswendiglernen. *Meaningful* heißt, dass das Lernen nicht willkürlich, nicht Wort für Wort erfolgt, sondern indem neue Konzepte in die kognitive Struktur des Lernalters, die er bereits hat, eingebaut werden. Das setzt Präkonzepte, also Vorwissen, voraus.

Der Lerner bringt eine kognitive Struktur (Vorwissen) mit und soll sich auf einem Lernweg die fachliche Sachstruktur aneignen (Duit, 2000). Der Lernweg kann kontinuierlich oder diskontinuierlich verlaufen. Bei dem kontinuierlichen Lernweg ist die Sachstruktur nicht völlig konträr zur Vorwissensstruktur des Lernalters, somit kann diese schrittweise erweitert werden. Auf dem diskontinuierlichen Weg hingegen muss es zu einer grundlegenden Änderung der Struktur des Vorwissens kommen und damit verbunden zu einem kognitiven Konflikt, da der Lerner seine Struktur aufgeben und eine neue annehmen muss. Beim Lerner kommt es zu einem Konzeptwechsel. In der Literatur finden sich verschiedene Begriffe für

derartige Lernwege, so z. B. bei Carey (1991): „enrichment“ und „conceptual change“ oder bei Vosniadou (1994): „enrichment“ und „revision“.

Basierend auf konstruktivistischen Theorien wurden Instruktionsansätze zur Gestaltung von Lernumgebungen entwickelt, die eine aktive Auseinandersetzung mit Problemen anregen und die Anwendungsqualität des Wissens erhöhen: 1. der *Anchored Instruction* Ansatz, 2. der *Cognitive Flexibility* Ansatz und 3. der *Cognitive Apprenticeship* Ansatz (Gerstenmaier & Mandl, 1995). Ausgehend von der Expertiseforschung unterscheiden Collins et al. (1989) zwischen dem leicht explizierbaren Gegenstandswissen von Experten und dem impliziten strategischen Wissen der Expertenpraxis (Collins, 1991). Dieses implizite Wissen lässt sich nur schwer außerhalb von authentischen Problemsituationen explizieren. Es lässt sich am besten situiert [zu situiertem Lernen: s. Brown et al. (1989); Kritik: Anderson et al. (1996)] und in Interaktion mit Experten vermitteln. Eine konstruktivistisch gestaltete Lernumgebung sollte den Lernenden ermöglichen, mit realistischen Problemen und authentischen Situationen umzugehen und stellt damit einen Rahmen und einen Anwendungskontext für das zu erwerbende Wissen dar. Wissensaufbau ist demnach an Lernsituationen geknüpft, insbesondere an die Aktivitäten (Tätigkeiten), den Kontext und die Kultur, in der das Wissen aufgebaut wird (Brown et al., 1989).

Daraus ergeben sich folgende relevante Bestandteile für die vorliegende Untersuchung des Wissensaufbaus von Schülern:

Aufgrund der Vorwissensabhängigkeit von Lernprozessen wurde das Vorwissen der Schüler untersucht. Die Erhebungsmethode für den Wissensaufbau sollte sensitiv sein, für die Unterscheidung von Lernprodukten, die auf Auswendiglernen zurückzuführen sind, und Lernprodukten, die auf Lernprozesse zurückzuführen sind, in denen in Bedeutungszusammenhängen gelernt wurde. Außerdem wurden potenzielle Einflussvariablen, wie die Gestaltung der Lernumgebung und Tätigkeiten, die Bestandteil der Lernsituationen sind, berücksichtigt.

II.2.1 Konzeptualisierung

Das über einen Lernprozess angeeignete Wissen ist im Gehirn gespeichert. Forschung darüber, wie Wissen im Gehirn gespeichert ist, beschäftigt sich mit den Wissensrepräsentationen (Mentale Repräsentationen: s. Schnotz, 1994, S. 145-170). Der Begriff „Repräsentation“ basiert auf der „Annahme, dass kognitive Informationsverarbeitung auf der Grundlage mental repräsentierter Informationen erfolgt und dass menschliches Verhalten bei der Bewältigung kognitiver Anforderungen das Ergebnis von Prozessen ist, die auf diesen Repräsentationen ablaufen“ (Tergan, 1989, S. 153). Es können drei große Gruppen von Modellen der Wissensrepräsentation unterschieden werden: Deklaratives, prozedurales und analoges Wissen (Ryle, 1949; Arbing, 1991) bzw. deklaratives, prozedurales und strategisches Wissen (Shavelson & Ruiz-Primo, 1999).

Deklaratives Wissen

In der vorgelegten Arbeit wurde das deklarative Wissen untersucht. Das deklarative Wissen ist „[...] das Wissen einer Person über Begriffe und deren Relationen, über Fakten und Sachverhalte, über Ereignisse, Objekte, Personen. Diese Art des Wissens wird häufig auch auf die Kurzformel *>Wissen, daß ...<* gebracht“ (Arbinger, 1991, S. 83).

Deklaratives Wissen ist intern unter anderem¹¹ in einem propositionalen Format repräsentiert (Arbinger, 1991; Schnotz, 1994) und damit in einer irgendwie gearteten Struktur aus Zweierbeziehungen.

Verständnis

Die Wissensstruktur wird als eine wichtige Komponente von Verständnis in einer Fachdomäne angesehen (Novak & Gowin, 1984; Novak, 1990; McClure et al., 1999; Ruiz-Primo, 2000). Die Wissensstruktur von Experten und erfolgreichen Lernern ist elaboriert und hoch integriert (Chi et al., 1988; Glaser & Bassok, 1989; Glaser, 1991; Goldsmith et al., 1991; Jonassen et al., 1993; Markham et al., 1994; Mintzes et al., 1998; Friege & Lind, 2004). Das bedeutet, dass mit steigender Expertise¹² in einer Domäne, also steigendem Wissen über eine Domäne, die Wissens Elemente verstärkt integriert werden. Je höher das Wissen integriert ist, desto höher ist das Verständnis in dem Wissensbereich (Chi et al., 1988) und die Fähigkeit zum Problemlösen (Friege & Lind, 2004) sowie anderer kognitiver Prozesse (Baxter et al., 1996).

Verständnis von Systemen

Der vorgelegten Arbeit wird ein Verständnisbegriff zugrunde gelegt, der auf Wissensstrukturmerkmalen basiert (s. o.) und sich außerdem an den Elementen eines Systems orientiert (C. Sommer, 2006). Forschung über das Verständnis von Systemen beschäftigt sich mit dem Denken bzw. dem Denken in Modellen und untersucht z. B. die Systemkompetenz (C. Sommer, 2006), das systemische Denken (Ossimitz, 2000a) oder das vernetzte Denken (Vester, 1988). Ossimitz geht dabei so weit, dass er als Voraussetzung für ein systemisches Denken Kenntnisse über systemische Darstellungsmittel ansieht und die Fähigkeit diese zu nutzen (Ossimitz, 2000b).

In der vorliegenden Arbeit steht deklaratives Wissen im Fokus (s. o.). Dieses wurde als Fakten- und Strukturwissen über das Ökosystem Ostsee erhoben, wobei aus der Struktur des Wissens Rückschlüsse auf das Verständnis gezogen wurden.

Ein Verständnis von einem bzw. über ein System setzt sich aus einer Reihe von Teilbereichen zusammen. In die vorliegende Arbeit sind folgende Teilbereiche in die Untersuchung des Verständnisses der Schüler über ein System eingeflossen (Ökosystem Ostsee, s. Kap. II.4):

1. Bestimmung der relevanten Elemente eines Systems.
2. Finden von Beziehungen zwischen Elementen.
3. Finden von Kreisläufen im System.

¹¹ Außerdem wird unter deklarativem Wissen das bildhafte und episodische Wissen gefasst.

¹² Wissen wird in der Expertiseforschung unterschieden in leicht explizierbares Gegenstandswissen von Experten und implizites strategisches Wissen der Expertenpraxis.

Das Erkennen von Systemgrenzen ist für ein Verständnis von Systemen wichtig. Mit der Bestimmung der relevanten Elemente eines Systems wird deutlich, wo der Proband Systemgrenzen setzt. Unter Einbeziehung der Entwicklung eines Systems über die Zeit und der Beziehungen zwischen verschiedenen Systemen, sind folgende Teilbereiche von Bedeutung:

4. Vorhersagen über die weitere Entwicklung des Systems machen können.
5. Wechselwirkungen mit anderen Systemen angeben können.

Diese beiden Teilbereiche wurden in der vorliegenden Arbeit nicht explizit untersucht, da die Erfassung der ersten drei Teilbereiche in dem zu untersuchenden System (Ökosystem Ostsee) als derart komplex angesehen wurde, dass die Untersuchung der Teilbereiche vier und fünf die Genauigkeit der Untersuchung der Teilbereiche eins bis drei zu stark beeinträchtigt hätte.

Fehlkonzepte

Über das Wissen und Verständnis der Schüler hinaus wurden außerdem Fehlkonzepte erhoben. Fehlkonzepte werden in der vorliegenden Arbeit in Anlehnung an die Definition für *misconceptions* von Novak & Gowin (1984, S. 20, Fußnote) definiert:

„Misconceptions is the term commonly used to describe an unaccepted (and not necessarily „wrong“) interpretation of a concept illustrated in the statement in which the concept is embedded. The expressed meaning is not, however, a misconception to the person who holds it, but a functional meaning.“

Fehlkonzepte sind demnach fachwissenschaftlich falsche Konzepte, die allerdings möglicherweise in die Wissensstruktur des Lernalters und aus dessen Sicht als richtige Konzepte integriert sind. Eine Möglichkeit Fehlkonzepte zu korrigieren ist der Aufbau von fachlich fundiertem Wissen. Mit dem Füllen von Wissenslücken, welche die Ursache für Fehlkonzepte sein können, können Fehlkonzepte indirekt korrigiert werden (Novak & Gowin, 1984).

II.2.2 Diagnose

Zur Untersuchung von Wissen und Verständnis können verschiedene Repräsentationsformen verwendet werden. Strukturelle Aspekte des deklarativen Wissens lassen sich mit den üblichen Tests (z. B. *Multiple Choice*) relativ schlecht messen (Shavelson & Ruiz-Primo, 1999). Da in der vorliegenden Studie aber insbesondere die Wissensstruktur untersucht werden sollte, werden im Folgenden solche Diagnoseinstrumente vorgestellt, die zur Untersuchung von Strukturwissen besonders geeignet sind. Die Untersuchung kann z. B. mithilfe von Texten oder Interviews erfolgen, indem das Textmaterial in ein Netzwerk umcodiert wird. Das deklarative Wissen kann anhand ausgewählter Netzparameter erfasst werden. Derartige Verfahren sind sehr zeit- und arbeitsintensiv. Eine Vereinfachung stellt die Heidelberger Struktur-lege-Technik (SLT) dar, die kurz vorgestellt wird. Daran schließt sich eine detaillierte Darstellung von Concept Maps (CM) an, die in der vorliegenden Arbeit als Wissensdiagnoseinstrument eingesetzt wurden.

II.2.2.1 Wissensdiagnose mit Texten

Die verbale Beschreibung von Wissen ist die offenste und gleichzeitig die am wenigsten formalisierte Darstellungsmöglichkeit für Wissen (Ossimitz, 2000b). Verbale Beschreibungen können in die Textform überführt werden. Deutlich formalisierter ist die direkte Beschreibung von Wissen als Text. Wissensdiagnose mithilfe von Texten kann mit der Transkription der Texte in so genannte Propositionslisten erfolgen. Hier wird in Anlehnung an die Prädikatenlogik von einer Prädikat-Argument-Struktur ausgegangen (s. Schnotz, 1994, S. 150f.). Ein Beispiel: Der Sachverhalt, dass Hans Maria eine Rose schenkt, wird durch die Proposition dargestellt: SCHENKEN (Agent: Hans; Objekt: Rose; Rezipient: Maria). Diese Proposition SCHENKEN symbolisiert die Kante (Relation) zwischen den Propositionsargumenten Hans, Maria und Rose. Ähnliche Verfahren zur Darstellung solcher propositionaler Repräsentationen wurden unter anderem von Boviar und Kieras (1985), Kintsch (1974) und Meyer (1975; 1981) entwickelt.

An die Transkription der Texte in Propositionslisten schließt sich die Wissensstrukturanalyse an. Je nach der Zielsetzung dieser Analyse kann sie angelehnt an die Elaborationstheorie erfolgen (Reigeluth & Stein, 1983), an das Beschreibungssystem von Meyer (1975; 1981) oder das Analysesystem der rhetorischen Strukturtheorie von Mann und Thompson (1988). Solche Verfahren sind sehr aufwendig und legen als Datenmaterial Texte zugrunde.

II.2.2.2 Wissensdiagnose mit Concept Maps (Begriffsnetzen)

Eine methodische Vereinfachung der Wissensanalysen mittels Texten stellt die Nutzung eines Datenmaterials dar, das kein ausformulierter Text ist. Begonnen hat dies mit der Heidelberger Struktur-Lege-Technik (SLT) [s. Scheele & Groeben (1988)] bzw. mit der Methode zur Erfassung der Alltagstheorien von Professionellen (MEAP) (Feldmann, 1979). Nach der Methode von Feldmann (1979) erhält der Proband Kärtchen mit zentralen Begriffen und soll diese in für ihn relevante bzw. irrelevante Begriffe sortieren. Mithilfe von Pfeilkärtchen soll der Proband Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge darstellen. Untersucht werden hiermit die subjektiven Theorien des Probanden (zu subjektiven Theorien s. Scheele und Groeben, 1988). Bei der Heidelberger Struktur-Lege-Technik wird die endgültige Struktur im Rahmen eines Dialog-Konsens-Verfahrens zwischen Person und Interviewer erarbeitet.

Mit solchen Struktur-Lege-Techniken wurden zunächst nur Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge abgebildet und untersucht (Feldmann, 1979). Ursache-Wirkungsdiagramme sind dementsprechend Knoten-Kanten-Grafen, in denen die Knoten (Begriffe) die Wissens-elemente repräsentieren und die Kanten (Relationen) die kausale Wirkung von einem Element auf ein anderes. Die Zeichen (+) und (-) werden zur Angabe von gleichsinnigen und gegensinnigen Zusammenhängen den Pfeilen zugeschrieben. Dabei symbolisiert ein (-)-Zeichen auf einem Pfeil einen gegensinnigen Zusammenhang zwischen den beiden Elementen, die der Pfeil verbindet. Ein (+)-Zeichen symbolisiert entsprechend einen gleichsinnigen Zusammenhang. Sind zwei Elemente über Wirkungspfeile zu einem Kreis verbunden, so führen Veränderungen des einen Elements zu Veränderungen des anderen Elements (Rückwirkungen).

In Abhängigkeit von der Wirkung (positiv oder negativ) werden folgende Wirkungskreise unterschieden: Konkurrenzkreis (zwei negative Wirkungen), Aufschaukelungskreis (zwei positive Wirkungen) und Regelkreis (eine positive und eine negative Wirkung) (Bayrhuber & Schaefer, 1980; C. Sommer, 2006).

Flussdiagramme sind quantitative Darstellungsformen und beinhalten quantitative Größen. Die Abgrenzung von Wirkungsdiagrammen und Flussdiagrammen liegt in der kausalen Wirkung zwischen Elementen. In Wirkungsdiagrammen hat ein Element auf ein anderes eine Wirkung irgendeiner Art. In Flussdiagrammen hat ein Element die Wirkung auf ein anderes in der Form, dass es die Ausgangsgröße für das andere Element darstellt. Bei den Elementen von Flussdiagrammen sind die Bestandsgrößen (Zeitpunkt bezogen) von den Flussgrößen¹³ (Zeitintervall bezogen) zu unterscheiden.

Gemeinsam ist den Wirkungs- und Flussdiagrammen, dass sie sich aus Begriffen und Pfeilen zusammensetzen, dabei stellen die Pfeile, die mit Plus- oder Minus-Zeichen versehen sind, die Beziehungen zwischen den Begriffen dar. Concept Maps (CM) setzen sich gleichsam aus Knoten (Begriffen) und Pfeilen zusammen. Die Pfeile dienen ebenfalls der Darstellung der Beziehungen zwischen den Knoten. Sie sind allerdings nicht mit mathematischen Zeichen, sondern mit verbalisierten und eindeutigen Beschriftungen versehen. In der Literatur finden sich verschiedene Bezeichnungen für die Bestandteile von Concept Maps (CM)¹⁴, daher wird zunächst eine Definition vorgelegt, die der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegt wird. Die jeweiligen Bezeichnungen in Klammern werden in der Arbeit synonym verwendet.

¹³ Flussgrößen sind noch zu unterteilen in Bewegungsgrößen (absolute Veränderungen von Beständen) und relative Veränderungen pro Zeiteinheit.

¹⁴ In der vorliegenden Arbeit wird ein CM als ein Begriffsnetz verstanden, entsprechend lautet es „das“ Concept Map. Autoren, die CM als Begriffslandkarte übersetzen, schreiben entsprechend „die“ Concept Map.

Concept Maps (CM): Eine Definition

Ein Concept Map (Begriffsnetz, im Folgenden mit „CM“ abgekürzt) ist ein Graf, der aus Knoten (Begriffen, Konzepten) und Verbindungspfeilen zwischen Knoten besteht. Dabei beschreibt bzw. erklärt die Beschriftung der Pfeile (Proposition) zusammen mit der Pfeilrichtung die Beziehung zwischen den zwei Knoten. Zwei Knoten, die mit einem beschrifteten Pfeil verbunden sind, werden als Kante (Relation) bezeichnet (s. Abb. 3).

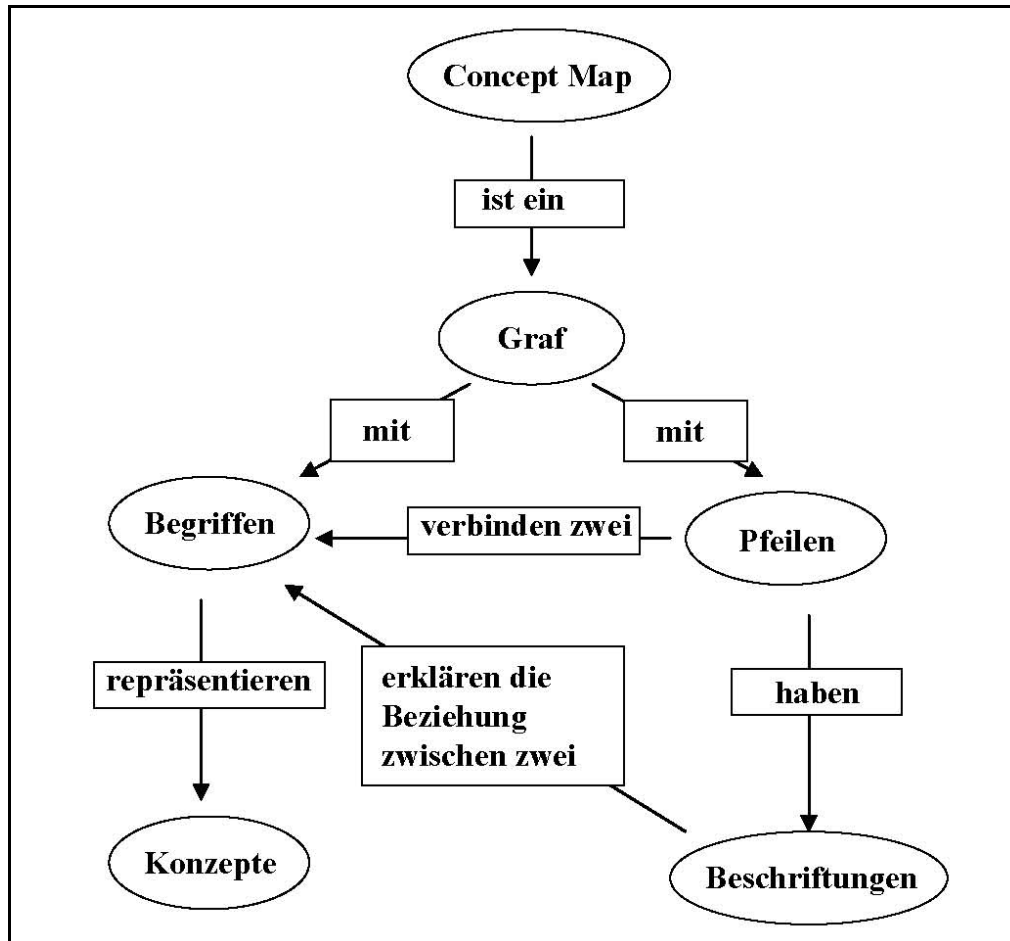


Abb. 3: Concept Map (CM) des Begriffs Concept Map

In Anlehnung an Ruiz-Primo (2000), Abb. 1. Erklärungen s. Text.

CM bieten eine objektive Erhebungsmethode für Wissen und sind sensitiv dafür, Fehlkonzepte aufzudecken (Novak, 1980; Feldsine, 1983; Novak & Gowin, 1984; Novak, 1990; Novak & Musonda, 1991; Markham et al., 1994; Ruiz-Primo, 2000; Stracke, 2003; Schanze, 2004). CM gelten als externale Abbildungen bzw. Repräsentationen von Wissensstrukturen und bieten damit eine Möglichkeit, Wissensstrukturen aufzudecken (Novak & Gowin, 1984; Novak, 1990; White & Gunstone, 1992; Markham et al., 1994; Ruiz-Primo & Shavelson, 1996; Mintzes et al., 1997; Shavelson & Ruiz-Primo, 1999; Fischler & Peuckert, 2000; Schanze, 2004). Mögliche Schwierigkeiten bezüglich der Validität und Reliabilität der CM-Testkonstruktion (s. u.) resultieren meist aus dem Bewertungsformat (Markham et al., 1994; McClure et al., 1999). Untersuchungen der Validität von CM-Bewertungen mit Protokollen des Lauten Denkens und anderen Messverfahren finden sich z. B. bei Herl et al. (1996) und Ruiz-Primo et al. (2001a; 2001b). Eine Prüfung der Inhaltsvalidität von CM findet

sich beispielsweise bei Barenholz & Tamir (1992), der instruktionalen Sensitivität bei Wallace & Mintzes (1990) und der konkurrenten Validität bei Markham et al. (1994) und Stoddart et al. (2000). CM sind reliable Erhebungsinstrumente für Wissen, was sich in der Bestimmung der Interrater-Reliabilitäten zeigt (Nakhleh & Krajcik, 1991; Stracke, 2003).

Concept Map (CM) Testkonstruktion

Der Einsatz von CM als Wissensdiagnoseinstrument setzt eine CM-Testkonstruktion voraus. Bei der CM-Testkonstruktion wird grundsätzlich unterschieden zwischen einer offenen und geschlossenen Mapping-Methode. Bei der geschlossenen Methode werden Begriffe und Beschriftungen der Pfeile vorgegeben und im Anschluss meist auf den Grad der Übereinstimmung mit einem Referenznetz hin ausgewertet (s. z. B. Stracke, 2003). Bei der offenen Methode wählen die Probanden selbst die relevanten Begriffe und Beschriftungen frei aus. Hierbei bedingt die Vielseitigkeit der resultierenden CM eine Vielzahl an Auswertungsmöglichkeiten. Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit der Kombination von offenen und geschlossenen CM-Aufgaben.

Der Test setzt sich zusammen aus einer (1) Aufgabe, deren Ergebnis einen Nachweis der Wissensstruktur des Bearbeiters in einem Wissensbereich liefern soll, einem (2) Antwortformat und einem (3) Bewertungssystem, mit deren Hilfe eine genaue und konsistente Bewertung möglich ist. Ruiz-Primo und Shavelson (1996) geben eine Übersicht zu den Variationsmöglichkeiten der Komponenten einer CM-Testkonstruktion (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996, S. 586, Tabelle 5). Im Folgenden werden die Komponenten, die auch in der Untersuchung der hier dargestellten Studie berücksichtigt wurden, etwas detaillierter vorgestellt.

(1) Das Aufgabenformat

Ruiz-Primo und Shavelson (1996) unterscheiden bei einer CM-Aufgabe zwischen der Aufgabenstellung (*task demand*), den Rahmenbedingungen (*task constraints*) und der Inhaltsstruktur (*task content structure*). Aufgabenstellung kann z. B. sein, dass ein CM konstruiert werden soll (Wallace & Mintzes, 1990) oder dass Lücken in einem CM ausgefüllt werden sollen (Schau et al., 1997). Rahmenbedingungen in Bezug auf die Aufgabe sind z. B., dass die Probanden Knoten (Begriffe) vorgegeben bekommen, die sie zur Erstellung eines CM benutzen sollen, oder dass sie Propositionen, also Beschriftungen für die Pfeile, vorgegeben bekommen. Die Inhaltsstruktur des zu untersuchenden Wissens sollte in der Aufgabe bedacht werden, indem die Darstellungsmöglichkeit für den Probanden zu dem darzustellenden Inhalt passt.

(2) Das Antwortformat

Das Antwortformat hängt eng zusammen mit dem Aufgabenformat. Es legt fest, ob ein CM zu zeichnen ist, ob es mit dem Computer erstellt oder eine mündliche Erklärung abgegeben werden soll. Auch hier unterscheiden Ruiz-Primo und Shavelson (1996) drei Formate: Den Antwortmodus (*response mode*), die Charakteristika des Antwortformats (*characteristics of the response format*) und das Mappen bzw. die Person, die das CM erstellt (*mapper*). Der Antwortmodus legt fest, wie der Proband antworten soll (Papier-Bleistift-Methode, Computer unterstützt, mündlich u. a.). Charakteristika des Antwortformats legen Details der Antwort fest, die zur Aufgabe passen müssen, so muss z. B. bei einem Lücken-CM klar sein, wo genau

die Lücken im CM sind (Schau et al., 1997). Wenn z. B. in einer Aufgabe Begriffe vorgegeben sind muss genau angegeben sein, ob die vorgegebenen Begriffe verwendet werden müssen oder nicht, ob eigene Begriffe hinzugefügt werden dürfen usw. Es muss definiert werden, wer das CM erstellt. Meist ist der Proband selbst der „Mapper“, doch es gibt auch Varianten, in denen der Forscher das CM erstellt, z. B. aus einem Essay oder einem Interviewtranskript.

(3) Das Bewertungsformat

Das Bewertungsformat dient zur genauen Bewertung der CM. Auch hier unterscheiden Ruiz-Primo und Shavelson (1996) drei Bewertungsstrategien: *Strategie (1)* bezieht sich auf die Bewertung der Komponenten des CM des Probanden, *Strategie (2)* auf den Vergleich des CM des Probanden mit einem Expertennetz bzw. Referenznetz und *Strategie (3)* stellt eine Kombination aus den beiden ersten dar.

Zu Strategie (1): Es können Gesamtsummenscores ermittelt und einzelne Komponenten abgebildet werden (Novak & Gowin, 1984; Bonato, 1990; Wallace & Mintzes, 1990; Novak & Musonda, 1991; Markham et al., 1994; Trowbridge & Wandersee, 1994; McClure et al., 1999; Friege & Lind, 2000). Die Bewertung einzelner Komponenten erfolgt zumeist über die Bestimmung ausgewählter Grafenmaße, z. B. der Anzahl an Knoten (Begriffen) und Kanten. Die Kanten gelten als Bausteine der CM und liefern Informationen über das deklarative Wissen des Schülers. Die Bestimmung ist einfach und die Interpretation liefert einen Einblick in die Tiefe des Verständnisses (McClure et al., 1999). Die Kanten und ihre Integration in das CM geben weiterhin Auskunft über Fehlkonzepte oder alternative Konzepte der Mapper (Novak, 1990; Mintzes et al., 1997). Kanten in den CM, die fachwissenschaftlich falsche Konzepte darstellen, werden in der vorliegenden Arbeit als Fehlkonzepte bezeichnet.

Die Bewertung der Kanten kann quantitativ erfolgen (mittels der Anzahl an Kanten) oder qualitativ (mittels der inhaltlichen Genauigkeit bzw. fachwissenschaftlichen Richtigkeit der Kanten) oder mit einer Kombination aus beidem [z. B. mittels der Ermittlung von Summenscores: Des „proposition score“ (Yin et al., 2005) oder „total accuracy score“ (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996)].

Neben der rein grafentheoretischen Auswertung dienen Strukturanalysen der CM zur Wissensdiagnose, die ebenfalls in die Bestimmung von Summenscores einbezogen werden können (z. B. „structural scoring method“ bei McClure et al., 1999). Die Begriffsanordnungen und die Orientierungen der Pfeile bestimmen die Struktur des CM. Es wird unterschieden zwischen hierarchischen oder nicht-hierarchischen CM (Novak & Gowin, 1984; Jonassen et al., 1993). Die nicht-hierarchischen CM werden weiterhin auf vielfältige Art strukturell unterschieden. Beispiele für Strukturunterscheidungen sind Ketten- und Clusterstrukturen (Holley & Danserau, 1984), Stern-, Baum- und Netzstrukturen (Kinchin, 2000), Ketten-, Baum- und Netzstrukturen (Friege & Lind, 2000) oder Ketten-, Kreis-, Stern-, Baum- und Netzstrukturen (s. Abb. 4, in Anlehnung an Yin et al., 2005).

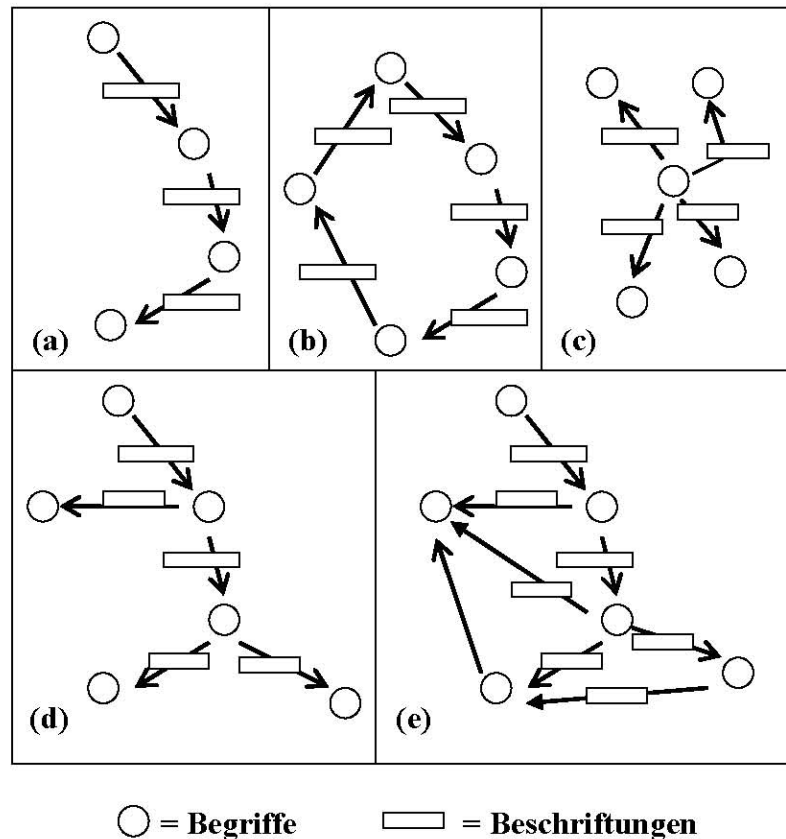


Abb. 4: Concept Map Strukturtypen

(a) Kettenstruktur, (b) Kreisstruktur, (c) Sternstruktur, (d) Baumstruktur und (e) Netzstruktur.

Zu Strategie (2): Diese Strategie basiert auf dem Vergleich des CM des Probanden mit einem Referenznetz. Es wird eine ideale Wissensstruktur der untersuchten Domäne vorausgesetzt. Außerdem wird vorausgesetzt, dass sich die kognitive Struktur der Lernenden mit fortschreitendem Lernerfolg dieser idealen Wissensstruktur annähert. Auch hier gibt es verschiedene Methoden (Übersicht s. Stracke, 2003), z. B. die Bestimmung des *Convergence Scores* nach Ruiz-Primo et al. (1998), der die Anteile der übereinstimmenden Kanten des Probanden-CM an allen möglichen Kanten des Referenznetzes abbildet. Ein weiteres Beispiel findet sich bei McClure et al. (1999), die den *Neighbourhood-Index* bestimmen. Dieser ist ein Maß für die Übereinstimmung dessen, ob die räumliche Nähe von Begriffen im Probanden-CM der im Referenznetz entspricht. Besonders wichtig ist die genaue Festlegung dessen, wie und nach welchen Kriterien das Referenznetz erstellt wird (Ruiz-Primo, 2000).

Zu Strategie (3): Diese Strategie wendet eine Kombination aus den beiden ersten Strategien an, indem CM-Komponenten bewertet werden und ein Referenznetz einbezogen wird. Vertreter dieser Strategie gehen davon aus, dass das Wissen nur in einer Kombination aus Referenznetz basierten Auswertungsverfahren und der Bewertung der CM Komponenten valide abgebildet werden kann; Beispiele finden sich bei Ruiz-Primo (2000) oder Osmundson et al. (1999).

II.2.3 Zusammenfassung

Ausgehend von einem konstruktivistischen Verständnis von Lernen erfolgt der Wissensaufbau in einem aktiven Herstellungsprozess, in dem neue Konzepte in die kognitive Struktur des Lerners integriert werden (Novak, 1990; Gerstenmaier & Mandl, 1995; Mintzes et al., 1998). Somit ist das Vorwissen für den Erfolg jedes Lernprozesses bedeutsam. Konzeptualisierungen der Wissensspeicherung im Gehirn (Wissensrepräsentationen) können sich auf das deklarative (propositionale), prozedurale und strategische Wissen beziehen (Shavelson & Ruiz-Primo, 1999). Die in der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegte Konzeptualisierung ist das deklarative Wissen, das sich aus Fakten- und Strukturwissen zusammensetzt. Die Elaboriertheit und Integration der Wissensstruktur wird darin als Maß für das Verständnis in der Fachdomäne angenommen (Novak & Gowin, 1984; McClure et al., 1999; Ossimitz, 2000a). Wissenslücken können mithilfe der Analyse der Fehlkonzepte aufgedeckt werden.

Die Diagnose von Wissen, insbesondere von Strukturwissen, ist mithilfe von Texten möglich, jedoch sehr aufwendig. CM bestehen aus Knoten (Begriffen) und beschrifteten Verbindungspfeilen zwischen zwei Knoten. Zwei Begriffe, die durch einen beschrifteten Pfeil verbunden sind, werden zusammen als Kante (Relation) bezeichnet. CM sind valide Erhebungsinstrumente für Wissen (Herl et al., 1996; Ruiz-Primo et al., 2001b) und bieten eine Möglichkeit zur Aufdeckung von Faktenwissen und Wissensstrukturen (Novak & Gowin, 1984; Fischler & Peuckert, 2000; Schanze, 2004) sowie Fehlkonzepten (Novak, 1990). Für den Einsatz von CM als Wissensdiagnoseinstrument sollte eine Testkonstruktion zugrunde gelegt werden, die sich zusammensetzt aus einer Aufgabe, deren Ergebnis einen Nachweis der Wissensstruktur des Bearbeiters in einem Wissensbereich liefern soll, einem Antwortformat, das zur Aufgabe und dem darzustellenden Inhalt passen sollte, und einem Bewertungsformat, mit dessen Hilfe eine genaue und konsistente Bewertung möglich ist (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996).

II.3 Zusammenhang zwischen Interesse und Wissen

Wie in Kap. II.2 ausgeführt hängt der Aufbau von Wissen und die Entwicklung von Verständnis von einem Lernprozess ab. Übersichten zu Forschungsarbeiten über den Zusammenhang von Interesse und Lernen finden sich z. B. bei Hoffmann et al. (1996) und Renninger et al. (1992). Meist wird in den Studien zwischen individuellem und situationalem Interesse unterschieden (s. a. Kap. II.1.1). Es wurden Zusammenhänge zwischen situationalem Interesse und dem Lernerfolg gezeigt (Mitchell, 1993; Schraw & Demnison, 1994; Schraw et al., 1995; Folling-Albers & Hartinger, 1996; Hoffmann et al., 1996; Hidi & Berndorff, 1998 (1996); Hidi & Harackiewicz, 2000). Außerdem wurden Zusammenhänge zwischen dem stabileren und längerfristigen individuellen Interesse und dem Lernerfolg gefunden (Prenzel, 1988a; Renninger, 1990; Ainley, 1996; U. Schiefele, 1996a; U. Schiefele, 1996b; U. Schiefele, 1996c). Insgesamt zeigt sich, dass Interesse das Lernen verbessern kann (Krapp, 2003a). Es finden sich sowohl positive Effekte des Interesses auf die kognitive Struktur (Wissensrepräsentation) als auch auf traditionelle Leistungskriterien (z. B. Schulnote) (Krapp, 1992a).

Der Zusammenhang zwischen Interesse und Wissen wurde mittels Korrelationsanalysen untersucht (Prenzel, 1988a; Prenzel, 1988b; Renninger, 1990; Alexander et al., 1994; Ainley, 1996; Naceur & Schiefele, 2005) und ist wechselseitig positiv. Gegenstandsbezogenes Wissen kann sowohl eine Bedingung als auch eine Folge von Interesse sein (Krapp, 1992c; Tobias, 1994). Die meisten der bisherigen Studien über den Zusammenhang zwischen Interesse und Wissen beziehen sich auf das Lernen mit Texten. Darin zeigt sich z. B. ein positiver Zusammenhang zwischen dem themenspezifischen Interesse und der qualitativen Wissensstruktur. Je größer das themenspezifische Interesse in einem Lernprozess ist, desto elaborierter und integrierter ist die aufgebaute Wissensstruktur und die damit verbundene Transferleistung (Krapp, 1992a). Wenn Interesse im Zusammenhang mit Lernen und Wissen untersucht wird und davon auszugehen ist, dass Wissen sowohl Bedingung als auch Folge von Interesse sein kann (s. o.), ist die epistemische Orientierung der Person wichtig (Prenzel, 1988a) (s. a. Kap. II.1.1). Darin zeigt sich weiterhin, dass die innere Bereitschaft, sich längerfristig anzustrengen und Zeit für die Bewältigung von Lernaufgaben zu investieren, wesentlich davon abhängt, wie ein Schüler seine Kompetenzen und Fähigkeiten zur Bewältigung dieser Aufgabe einschätzt (Krapp, 2003a). Interessegeleitetes Lernen und damit die Entwicklung und Veränderung von Interesse (insbesondere der epistemischen Komponente des Interesses), steht somit in einem engen Zusammenhang zum Selbstkonzept der Person (Krapp, 2001) (s. Kap. II.3.1).

Köller et al. (2000) untersuchten den Zusammenhang von Interesse, Leistung und Selbstkonzept. Sie erhoben das fachbezogene Interesse von Schülern in Mathematik (fünf Items, $\alpha = 0.88$) und das Selbstkonzept der Begabung in Mathematik (vier Items, $\alpha = 0.92$). Die Leistung der Schüler wurde mit lehrplanüblichen Items in insgesamt 65 Aufgaben mit unterschiedlichen Antwortformaten erhoben (*multiple choice*, offenes Antwortformat). Sie fanden sowohl Zusammenhänge zwischen dem Interesse und dem Selbstkonzept der Schüler in Mathematik als auch zwischen dem Interesse an Mathematik und der Leistung in dem Fach. Ihre durchschnittliche Korrelation zwischen Interesse und Leistung liegt mit $r = 0.42$ deutlich über den Korrelationen, die sich in vergleichbaren Studien gezeigt haben.

Metaanalysen zu Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Interesse und Leistung bieten U. Schiefele et al. (1992) und Wild et al. (2001). Darin ist die durchschnittliche Korrelation zwischen Interesse und Leistung $r = 0.30$ (s. a. U. Schiefele et al., 1993; H. Schiefele, 2000; Krapp, 2001).

II.3.1 Das Selbstkonzept und seine Bedeutung für Interesse und Wissen

Hoffmann et al. (1998) untersuchten das fachbezogene Selbstkonzept von Schülern als Hintergrundvariable für ihre Interessevariablen (s. Kap. II.1.2). In ihrer Studie zeigte sich die Vorhersagestärke des Selbstkonzepts für die Entwicklung von Fach-, Freizeit- und Berufsinteresse besonders ausgeprägt.

Über die Studie von Hoffmann et al. (1998) hinaus können viele Studien aufgeführt werden, welche die Bedeutung des Selbstkonzepts für die Interessen- und Wissensentwicklung unterstreichen. So wurde die Bedeutung des Selbstkonzepts einer Person für die Entwicklung und Stabilisierung von Interessen der Person mit dem Aufzeigen wechselseitiger Beziehungen zwischen dem Selbstkonzept und dem Interesse vielfach untersucht und belegt (Renninger, 1992; Hannover, 1996; Hannover, 1997; Hoffmann et al., 1998; Hidi, 2000; Hidi & Harackiewicz, 2000; Köller et al., 2000; Krapp, 2001; Hoffmann, 2002; Krapp, 2002b). Aus der Person-Gegenstand-Theorie des Interesses (s. Kap. II.1.1) lässt sich ableiten, dass eine starke Identifikation mit dem Gegenstand von Interesse einen positiven Effekt auf das Interesse der Person an diesem Gegenstand hat (Köller et al., 2000). Engeln (2004), die eine Interessenstudie mit Schülern in außerschulischer Lernumgebung in der Physik durchgeführt hat, hebt ebenfalls die Bedeutung des Selbstkonzepts hervor. Sie untersuchte die emotionale, wertbezogene und epistemische Komponente des Interesses und konnte eine Interessenförderung mit der Teilnahme an einem Kurs in einem Tagesschülerlabor zeigen. Sie stellte fest, dass insbesondere die wertbezogene Komponente des Interesses positiv beeinflusst wird. In ihrer Studie zeigte sie, dass die Bedeutung des Selbstkonzepts für das Interesse von den Merkmalen der Lernumgebung, in dem Fall der Schülerlabore, abhängt. Als Merkmale der Lernumgebung erhob sie die Größe der Herausforderung, die Qualität der Zusammenarbeit, die Authentizität, die Verständlichkeit und die Offenheit¹⁵.

Weiterhin zeigen empirische Untersuchungen wechselseitige Beziehungen zwischen dem Selbstkonzept einer Person in einer Domäne und der Leistung in der entsprechenden Domäne. Das Maß für Leistung ist meist die Fachnote (z. B. die letzte Zeugnisnote im Fach) oder die Beantwortung von fachspezifischen Aufgaben. Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen dem Selbstkonzept und der Schulleistung von Schülern finden sich z. B. in einer Metaanalyse von Fraser et al. (1987), worin sich eine durchschnittliche Korrelation von $r = 0.12$ ($SD = 0.06$) zeigt. Eine der berücksichtigten Arbeiten ist von Hansford und Hattie (1982). Hier wurden 128 Studien zum Zusammenhang zwischen verschiedenen Selbstkonzeptmaßen und Schulleistungen aufgenommen und es zeigte sich eine durchschnittliche Korrelation zwischen dem Selbstkonzept und der Schulleistung von $r = 0.21$ ($SD = 0.23$) (Hansford & Hattie, 1982).

¹⁵ Das Selbstkonzept hat in der Studie von Engeln (2004) auch einen Einfluss auf den Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Lernumgebung und dem Interesse der Schüler.

II.3.2 Zusammenfassung

Es finden sich in der Literatur Zusammenhänge zwischen Interesse, Wissen und Selbstkonzept. So zeigten sich Zusammenhänge zwischen Interesse und Lernen sowie zwischen Interesse und Wissen (Ainley, 1996; Naceur & Schiefele, 2005). Die meisten der bisher durchgeführten Studien über die Beziehung zwischen Interesse und Wissen basieren auf dem Lernen mit Texten in der Schule. Darin finden sich insbesondere positive Effekte des Interesses auf die kognitive Struktur, indem diese umso elaborierter und integrierter ist, je größer das themenspezifische Interesse ist (Krapp, 1992a). Korrelationsanalysen über den Zusammenhang von Interesse und Leistung weisen eine durchschnittliche Korrelation von $r = 0.3$ auf (Wild et al., 2001).

Für die Entwicklung von epistemischem Interesse, das sich in Interesse geleiteten Lernprozessen entwickelt, ist das Selbstkonzept der Person bedeutsam (Prenzel, 1988a; Krapp, 2001; Krapp, 2003b). Die wechselseitige Beziehung zwischen dem Selbstkonzept einer Person und dem Interesse ist vielfach empirisch belegt (Hoffmann et al., 1998; Köller et al., 2000; Krapp, 2001; Krapp, 2002b; Engeln, 2004), ebenso zwischen dem Selbstkonzept und der Leistung (U. Schiefele et al., 1992; Köller et al., 2000) und damit auch dem Wissen. Der Zusammenhang zwischen dem Selbstkonzept und dem Interesse ist allerdings stärker ausgeprägt.

Der gängige Unterricht und Projekte wie NaT-Working „Meeresforschung“, die das Ziel verfolgen, das Interesse der Schüler an Naturwissenschaften mit bestimmten Lernprozessen und Lerngegenständen zu fördern, können sich für ihre Zielerreichung den Zusammenhang zwischen Interesse und Wissen nutzbar machen, denn je größer das Wissen ist, desto größer ist das Interesse und umgekehrt. Die Gestaltung von Lernumgebungen und damit des Unterrichts bzw. des Projekts sollte somit die Wissensgenese positiv unterstützen und das Interesse fördern.

II.4 Fachwissenschaftlicher Hintergrund

Der fachwissenschaftliche Hintergrund der vorgelegten Arbeit bezieht sich auf den Lebensraum Meer. Das „Ökosystem Meer“ wird im Folgenden beschrieben (Ott, 1988; U. Sommer, 1996; U. Sommer, 1998; Kreft, 2002; Bayrhuber et al., 2005). Im Hinblick auf die angestrebte Untersuchung des Wissens und Verständnisses werden wichtige Elemente des Ökosystems Ostsee und deren Beziehungen vorgestellt. Dafür werden zunächst die abiotischen und biotischen Faktoren sowie wichtige Stoffkreisläufe skizziert. Es folgt die Vorstellung der verschiedenen Ernährungsformen mit den verbundenen Zellstoffwechselarten. Daran schließt sich die Darstellung der Nahrungsbeziehungen in der Ostsee an, die im Mittelpunkt der Untersuchung stehen.

Elemente, also Knoten (Begriffe), die in der Concept-Map Aufgabe des Biologie Leistungskurses vorgegeben wurden, werden fett hervorgehoben (s. a. Kap. III.4.3.2). Ein Erwartungshorizont an die CM kann nicht erschöpfend formuliert werden, da die Aufgabe offen gestaltet ist. Die Erwartungen an die fachlichen Inhalte, die in den CM der Schüler vorkommen könnten, orientieren sich an den im Folgenden vorgestellten fachlichen Inhalten und den entsprechenden Fachkonzepten.

II.4.1 Lebensraum Meer

Der marine Lebensraum gliedert sich in das Benthon und das Pelagial. Das Benthon ist der Boden und die Uferzone des Meeres. Das **Sediment** des Benthons wird nach Korngrößen in aufsteigender Größe als Ton, Silt, Feinsand, Mittelsand, Grobsand und Kies bezeichnet. Das Pelagial ist der Wasserkörper, der in vier Stockwerke eingeteilt werden kann: Das **Epipelagial** (0-200m), das **Mesopelagial** (200-1.000m), das Bathypelagial (1.000-5.000m) und das Abyssopelagial (>5.000m). Die Gliederung des Pelagials kann auch nach funktionalen Kriterien erfolgen, üblich ist z. B. eine Unterteilung nach den Lichtverhältnissen. Dabei wird unterschieden zwischen der oberflächennahen, lichtdurchfluteten, *euphotischen Zone*, und der dunklen, *aphotischen Zone*, die in der Tiefe liegt.

II.4.1.1 Abiotische Faktoren

Das **Licht** im Meer stammt von der Sonne, die elektromagnetische Wellen der Wellenlängen von 100 bis 3.000 nm ausstrahlt. Darin sind die Bereiche Ultraviolett, sichtbares Licht und Infrarot enthalten. Der sichtbare Teil (380–750nm) ist für die Fotosynthese relevant. Insgesamt können nur 0.1-2% der eingestrahnten Lichtenergie fotosynthetisch genutzt werden. Die Lichtintensität nimmt exponentiell mit der Tiefe ab. Direkt an der Oberfläche kommt es zu einer Lichtreflexion. Die Lichtabnahme innerhalb des Wasserkörpers hängt ab von der Konzentration fotosynthetischer Pigmente, Humusstoffen und suspendierter Partikel. Im Vertikalprofil der Fotosynthese folgen von oben nach unten die Zonen der Lichthemmung, der Lichtsättigung, der Lichtlimitation. An der Wasseroberfläche ist die Fotosynthese durch zu starke Lichtintensitäten gehemmt (Lichthemmung). In einigen Metern Tiefe sind optimale Lichtverhältnisse für die Fotosynthese (Lichtsättigung), so dass es zu einem lokalen

Sauerstoffmaximum kommt. In tieferen Wasserschichten nimmt die Fotosyntheserate aufgrund zu geringer Lichtquantitäten wieder ab. Die Wasserzone, in der ausreichend Licht für Fotosynthese vorhanden ist, wird als euphotische Zone bezeichnet. Sie reicht bis zu einer Tiefe, in welche 1% des eingestrahltten Lichtes vordringt.

Zentraler Unterschied zwischen Binnengewässern und dem Meer ist der Gesamtgehalt an gelösten Salzen, der als Salinität bezeichnet wird. Die Salinität schwankt zwischen 32‰ (Nördliches Eismeer) und 40‰ (Rotes Meer). Die Ostsee ist ein abgetrenntes Meeresbecken mit starkem Süßwassereinfluss und relativ niedriger Verdunstung, hier ist der Salzgehalt unter 28‰ und das Wasser wird als Brackwasser bezeichnet. Kochsalz (Natriumchlorid, NaCl) ist das wichtigste unter den gelösten Salzen. Das dominierende Anion ist somit Chlorid und das dominierende Kation ist Natrium.

Mit der Wassertiefe nimmt die Dichte des Wassers zu. Durch Einwirkung kinetischer Energie (Wind, Strömungen, Gezeiten) kann es zur Durchmischung benachbarter Wasserkörper kommen. Sprungschichten (**Pyknoklinen**) sind Zonen rapider Dichteänderungen. Die Dichte des Wassers hängt zum einen vom Salzgehalt ab und zum anderen von der Temperatur. Eine Temperaturschichtung heißt Thermokline und eine salzbedingte Schichtung wird als Halokline bezeichnet. Im Meer wird die Schichtung meist von beiden Faktoren bestimmt und man findet eine thermohaline Schichtung.

In der Ostsee gibt es eine haline (chemische) Schichtung. Leichtes Süßwasser dringt ein (durch Flusseinmündungen) und verdünnt das Ostseewasser (Brackwasser). Entlang der Küstenlinien von Dänemark und Schweden zwischen dem Skagerak und dem Kattegat dringt salzreiches Nordseewasser in die Ostsee ein, wodurch es hier zu einer salzbedingten Schichtung kommt.

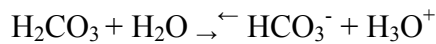
Wichtige gelöste Gase im Wasser sind **Sauerstoff** [O₂] und **Kohlendioxid** [CO₂]. Der Austausch zwischen Wasser und Atmosphäre erfolgt über Diffusion. Im engeren Sinne versteht man unter Diffusion (lat. diffundere = ausbreiten) den Ausgleich von Konzentrationsunterschieden. Bei Übersättigung des Wasserkörpers mit einem der Gase erfolgt eine Abgabe an die Atmosphäre, bei Untersättigung entsprechend eine Aufnahme (s. Fick'sche Gesetze). Die Löslichkeit der Gase hängt ab von der Wassertemperatur. Mit steigender Temperatur sinkt die relative Sättigung der Gase im Wasser. So beträgt z. B. die Sättigungskonzentration des Sauerstoffs bei Normaldruck und 20°C 9,09mg l⁻¹. Eine Temperaturerhöhung um 2°C führt zu einer Sättigungskonzentration des Sauerstoffs von 8,74mg l⁻¹ (s. U. Sommer, 1998, S. 33).

Sauerstoffquelle ist die Fotosynthese. Ein Sauerstoffverbrauch erfolgt hauptsächlich durch die Respiration, aber auch durch die Chemosynthese (s. S. 46).

Die Sauerstoffkonzentration nimmt in der Regel im Vertikalprofil des Wasserkörpers von oben nach unten ab, da respiratorische Sauerstoffverluste in der Tiefe nicht durch Fotosynthese und Austausch mit der Atmosphäre ausgeglichen werden können.

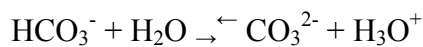
Im Sommer kann ein lokales O₂-Maximum in einigen Metern Tiefe auftreten. Ursache hierfür ist eine stabile Schichtung des Wasserkörpers sowie die Lichthemmung an der Oberfläche.

CO_2 wird durch die Fotosynthese verbraucht und durch die Respiration freigesetzt. Im Wasser wird Kohlendioxid (CO_2) aufgrund des Dipol-Charakters der Wassermoleküle hydratisiert¹⁶. Mittels chemischer Bindungen kann CO_2 reversibel in *Kohlensäure* umgewandelt werden. Bemerkenswert ist hier, dass >99% des gelösten CO_2 nicht chemisch gebunden, sondern physikalisch gelöst als hydratisiertes CO_2 vorliegt ($\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Das bedeutet, dass die Kohlensäure, bzw. das Säure-Base-Gleichgewicht der Kohlensäure, mit dem hydratisierten Kohlendioxid in einem Gleichgewicht vorliegt, das zu >99% auf der Seite des hydratisierten Kohlendioxids liegt. Das chemische Säure-Base-Gleichgewicht für die Kohlensäure (H_2CO_3) lautet wie folgt:



Die Kohlensäure dissoziiert zu Hydrogencarbonat und Hydroniumionen.

Das Hydrogencarbonat kann weiter zu Karbonat und Protonen bzw. Hydroniumionen dissoziieren:



Das Säure-Base-Gleichgewicht der Kohlensäure ist abhängig vom pH-Wert des Wassers. Bei niedrigem pH-Wert verschiebt sich das Gleichgewicht auf die Seite der Kohlensäure (H_2CO_3) bzw. dem hydratisierten Kohlendioxid. Bei höherem pH-Wert verschiebt sich das Gleichgewicht in Richtung des Karbonats (CO_3^{2-}). Im Meer ist der pH-Wert normalerweise leicht alkalisch [7,9-8,5], d. h. hier liegt CO_2 hauptsächlich als Hydrogencarbonat (HCO_3^-) vor (s. U. Sommer, 1998, S. 35).

Häufigste Elemente in der Biomasse sind Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Wasserstoff (H) und auch Stickstoff (N). Im Wasserkörper sind Überschusselemente durch folgende Moleküle bestimmt: Wasser (H_2O), Kohlendioxid (CO_2) und Hydrogencarbonat (HCO_3^-). Im Wasserkörper meist ausreichend vorhandene Nährstoffe¹⁷ sind Calcium (Ca^{2+}), Kalium (K^+), Magnesium (Mg^{2+}), Schwefel [S, meist als Sulfat (SO_4^{2-})] und Chloride (Cl^-). Von den essentiellen Nährelementen werden Stickstoff (N), Phosphat (P) und Silizium (Si) (für Kieselalgen) und Eisen (Fe) am ehesten zu Mangelfaktoren. Für limitierende Nährstoffe gilt Liebig's „Prinzip des Minimums“.

Pflanzennährstoffe werden während der Vegetationsperiode des Planktons (s. S. 39) in der euphotischen Zone gezehrt. Über die Nahrungskette werden sie an Lebewesen höherer Trophieebenen weitergegeben. Als Detritus oder Ausscheidungen von Tieren reichern sich die darin gebundenen Nährstoffe im Tiefenwasser und insbesondere im Porenwasser des Sediments an. Die Nährstoffe können sowohl während des Absinkens als auch aus dem Sediment wieder freigesetzt werden. Auftreibendes Tiefenwasser ist somit nährstoffreich.

¹⁶ Die Wasserdipole hydratisieren das Kohlendioxid über die Ausbildung von Wasserstoff-Brückenbindungen.

¹⁷ Unter den Begriff „Nährstoffe“ werden unter dem Aspekt der Vereinfachung die Begriffe Nährsalze und Nährelemente gefasst.

II.4.1.2 Biotische Faktoren

Biotische Faktoren im Meer sind die Lebewesen, die im Pelagial leben und das Benthos, also die Lebensgemeinschaft des Benthals. Für die hier vorgelegte Arbeit sind die Lebewesen des Pelagials bedeutsam und werden im Folgenden kurz vorgestellt. Das Pelagial wird von schwimmenden Organismen (Nekton) und treibenden Organismen [Plankton (Phyto- und Zooplankton)] besiedelt. Die Grenze zwischen Zooplankton und Nekton ist fließend.

Das Plankton

Das Plankton (gr. *Planktos* das Umhergetriebene) umfasst die im Wasser schwebenden Organismen. Es gibt Plankter, die nicht schwimmen können und Plankter, die zwar schwimmen können, jedoch nicht gegen Meeresströmungen ankommen. Im Plankton finden sich alle Reiche des Systems der Organismen. Wird eine Kategorisierung nach dem Ernährungsmodus vorgenommen, so gibt es das **Phytoplankton**, das sich autotroph ernährt, indem es Fotosynthese betreibt (Pflanzen, inklusive Cyanobakterien¹⁸). Diese Systematik führt dann weiter zum **Zooplankton**, das heterotroph ist und partikuläre organ. Substanz frisst. Das Zooplankton kann nach dem Ernährungsmodus weiter unterteilt werden in herbivore (pflanzenfressende), carnivore (tierfressende), omnivore (allesfressende) und detritivore (detritusfressende) Tiere.

Im Sinne der Systematik umfasst das Phytoplankton Prokaryoten (Cyanobakterien und Prochlorobakterien) und pflanzliche Protisten, wie z. B. *Flagellaten* (Fadenalgen), darunter z. B. *Dinoflagellaten* und *Bacillariophyceae* (Kieselalgen), darunter z. B. *Diatomeen*. Phytoplankter sind Primärproduzenten, d. h. sie produzieren fotosynthetisch als erste in einer Nahrungskette aus anorganischen Ausgangsmaterialien organ. Substanzen.

Im Sinne der Systematik umfasst das Zooplankton Protisten (eukaryote Einzeller) und Tiere. Zum Zooplankton gehören „tierische“ Organismen, die sich heterotroph ernähren. Sie fressen partikuläre organ. Substanz (POM, engl. *particulate organic matter*), in der Hauptsache Phytoplankter und sind somit die Konsumenten im Plankton. In der hier vorgelegten Arbeit ist das herbivore Zooplankton, also der Räuber des Phytoplanktons, von Bedeutung.

Das Nekton

Das Nekton ist die Gesamtheit der aktiv schwimmenden Organismen des Pelagials und umfasst nur Tiere. Das sind die **Fische** (*Pisces*), darunter die Knorpelfische (*Chondrichthyes*), wie z. B. Kleiner Katzenhai (*Scyliorhinus canicula*) und Sternrochen (*Raja radiata*) und Knochenfische (*Osteichthyes*), wie Hechte (*Esocidae*) und Aale (*Anguilliformes*). Außerdem gehören zum Nekton die Meeressäuger (*Mammalia*), wie z. B. Schweinswale (*Phocoena phocoena*), und die Kopffüßer (*Cephalopoden*), wie z. B. Kalmare (*Theutoidea*). Letztere kommen allerdings in der Ostsee wegen des niedrigen Salzgehaltes nicht oder nur ganz selten vor.

Organismen im Benthos, also im Sediment sind Algen, Seegräser, Zoobenthos, Bakterio- und Mykobenthos. Für die hier vorgelegte Arbeit sind insbesondere chemolithotrophe Bakterien von Bedeutung, welche die Nitrifikation durchführen (*Nitrosomonas* und *Nitrobacter*). Sie kommen hauptsächlich im Benthos vor, jedoch auch im Pelagial.

¹⁸ Cyanobakterien sind keine eukaryotischen Pflanzen, sondern Prokaryoten.

II.4.1.3 Ausgewählte Stoffkreisläufe: CO₂- und N-Kreislauf

Stoffkreisläufe des Ozeans sind permanente Umwandlungen von gelösten Substanzen (z. B. Nährstoffen, CO₂) in Partikel (z. B. Phytoplankton) und deren erneutem Abbau in gelöste Substanzen. Allgemein betrachtet müssen beim Transfer von Stoffen Pool- und Flussgrößen unterschieden werden. Die Poolgrößen sind Konzentrationen oder die Masse pro Gewässeroberfläche eines Stoffes und die Flussgrößen sind Veränderungen der Poolgrößen pro Zeit. Neben den biologischen Stoffumsetzungen finden auch chemische Umsetzungen und physikalische Transportvorgänge (Sedimentation, Durchmischung etc.) statt. Die biologische Stoffumsetzung erfolgt über das Nahrungsnetz bzw. den Nahrungskreislauf und beinhaltet damit auch Transportvorgänge. Biomasse wird von den autotrophen Organismen produziert (Produzenten). Die darin enthaltene Energie wird über die Nahrungskette an die heterotrophen Organismen weiter gegeben (Konsumenten). Konsumenten scheiden Exkrememente aus bzw. sterben und sinken als organ. Biomasse durch den Wasserkörper an den Meeresgrund ins Sediment. Stoffe enden normalerweise nicht bei den Konsumenten bzw. deren Ausscheidungsprodukten, sondern werden in den Nahrungskreislauf zurückgeschleust.

Der Kohlenstoffkreislauf des Ozeans¹⁹

Der Kohlenstoffeintrag aus der Atmosphäre ins Wasser und der Transport des Kohlenstoffs im Wasser erfolgt auf folgende Arten:

1. CO₂ löst sich physikalisch im Wasser, indem es hydratisiert wird (CO₂ · H₂O). Das gilt für ca. 99% des gesamten im Wasser vorhandenen CO₂.
2. CO₂ reagiert chemisch mit Wasser, zu Hydrogencarbonat (HCO₃⁻) und Kohlensäure (H₂CO₃).
3. Absinkendes Oberflächenwasser nimmt Kohlenstoffverbindungen mit in die Tiefe.
4. CO₂ wird von Produzenten eingebaut: Pflanzen bauen CO₂ fotosynthetisch ein und bilden Glukose, woraus weitere organ. Verbindungen aufgebaut werden.
5. Nach dem Absterben von Lebewesen sinkt ein Teil und damit der in ihnen gebundene Kohlenstoff in die Tiefe ab. Gleiches gilt für die Ausscheidungen von Lebewesen, die gebundenen Kohlenstoff enthalten.

Die Punkte 1. bis 3. werden auch als physikalische Kohlenstoffpumpe bezeichnet und die Punkte 4. und 5. als biologische Kohlenstoffpumpe.

Kohlenstoff kommt im Wasser also auf verschiedene Arten vor: Als gelöster und partikulärer anorganischer Kohlenstoff und als gelöster und partikulärer organ. Kohlenstoff. Diese Kohlenstoffverbindungen werden umgewandelt. Der Kohlenstoffkreislauf der Deckschicht des Ozeans, die bis zur Sprungschicht reicht, ist in der Abb. 5 skizziert.

¹⁹ Die Ausführungen über den Kohlenstoffkreislauf beziehen sich hauptsächlich auf die Deckschicht des Meeres. Dabei handelt es sich nur um einen Teil des globalen Kohlenstoffkreislaufs.

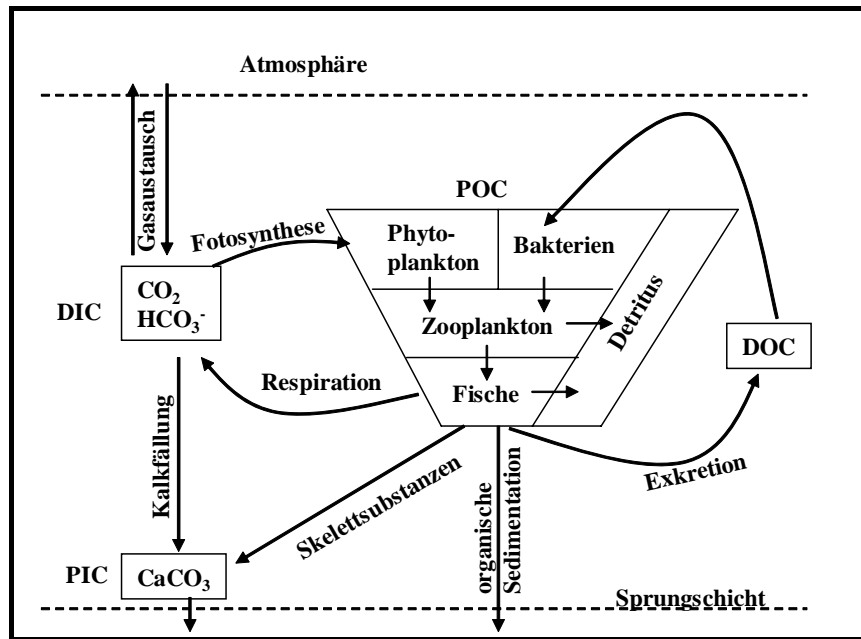


Abb. 5: Kohlenstoffkreislauf in der Deckschicht des Ozeans

In Anlehnung an U. Sommer, 1998, S. 359, Abb. 10.1. Erklärungen s. Text. Abkürzungen: DIC, *dissolved inorganic carbon*; DOC, *dissolved organic carbon*; PIC, *particular inorganic carbon*; POC, *particular organic carbon*.

Gelöster anorganischer Kohlenstoff (DIC= engl.: *dissolved inorganic carbon*) kann als hydratisiertes Kohlendioxid ($\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) und als Hydrogenkarbonat²⁰ (HCO_3^-) vorkommen. An der Wasseroberfläche steht DIC im Austausch mit der Atmosphäre (Diffusion). Dabei hängt die Löslichkeit des CO_2 primär von dem jeweiligen Partialdruck des CO_2 ab und der Temperatur des Wassers, denn in kälterem Wasser löst sich mehr CO_2 als in wärmerem Wasser. Dieser DIC kann als Kalk (CaCO_3) ausfallen und sinkt als partikulärer anorganischer Kohlenstoff (PIC= engl.: *particular inorganic carbon*) ab (s. Abb. 5, Kalkfällung).

Verbraucht wird DIC in der Deckschicht des Ozeans in der Primärproduktion (Fotosynthese²¹) und in der Bildung von Kalk, welcher sich im Sediment ablagert bzw. in die Gesteinsbildung einfließt. Eine Rückgewinnung von DIC erfolgt in der Deckschicht aus der Respiration (Atmung)²².

PIC wird durch Kalkfällung und Skelettbildung aufgebaut und durch Kalklösung abgebaut. Der anorganische Kohlenstoff wird zu organ. Kohlenstoff, indem er in organ. Verbindungen eingebaut wird. Das erfolgt in der Deckschicht des Ozeans hauptsächlich über den fotosynthetischen Einbau des CO_2 durch die Lebewesen des Phytoplanktons. Diese bilden aus dem DIC (speziell dem CO_2) Glukose. Dieser Zucker ist die Ausgangssubstanz für die Synthese weiterer organ. Verbindungen. Die Weitergabe des organ. Kohlenstoffs, also des partikulären organ. Kohlenstoffs (POC= *particular organic carbon*) erfolgt dann über die Nahrungskette bzw. das Nahrungsnetz. Das Nahrungsnetz ist in der Abb. 5 stark vereinfacht dargestellt. Hiernach erfolgt die Weitergabe des POC vom Phytoplankton an das Zooplankton

²⁰ In dem Hydrogenkarbonat ist der Kohlenstoff chemisch gebunden, jedoch das Hydrogenkarbonat selbst ist im Wasser gelöst (s. a. S. 38f.).

²¹ Im Benthos wird PIC außerdem in der Chemosynthese von bestimmten Bakterien verbraucht.

²² Im Benthos erfolgt die Rückgewinnung des DIC aus PIC durch Kalklösung.

und weiter an die Fische. Über die Exkretion wird der organ. Kohlenstoff zum Teil wieder im Wasser gelöst und kommt als gelöster organ. Kohlenstoff vor (DOC= engl.: *dissolved organic carbon*). DOC kann über Bakterien wieder in den Kreislauf zurückgeführt werden (s. Abb. 5). Partikulärer organ. Kohlenstoff (POC= engl.: *particular organic carbon*) kommt also als Teil der lebenden Organismen vor und weiterhin als Detritus (abgestorbene Organismen) und ungelöste Exkrememente. DOC wird in der Deckschicht neben der Exkretion noch durch Lyse der Bakterien gebildet²³. Gewonnen wird POC in der Deckschicht also hauptsächlich durch die Primärproduktion (Fotosynthese). Senken für den POC sind die Respiration (Atmung), die Exkretion und die organ. Sedimentation. Der über die Respiration als DIC vorliegende Kohlenstoff kann wieder über die Fotosynthese der Lebewesen des Phytoplanktons zurück geführt werden. Der Kohlenstoff, der über die Exkretion in den Wasserkörper gelangt ist, kann als DOC über die Produktion der Bakterien zurückgeführt werden (s. Abb. 5).

Abgesehen davon, dass sich der Kohlenstoffkreislauf im marinen System der Deckschicht von dem im Benthos unterscheidet, wird zwischen dem biologischen Kreislauf (biologische Pumpe) und dem physikalischen Kreislauf (physikalische Pumpe) unterschieden. Der biologische Kreislauf des CO₂ zwischen der Atmosphäre und dem Wasser umfasst den Einbau des CO₂ durch die Primärproduzenten in organ. Verbindungen und deren Weitergabe an die Konsumenten über die Nahrungskette. Der größte Teil des CO₂ wird hierbei durch die Respiration Atmung abgegeben und gelangt zurück an die Atmosphäre (über Diffusion). Abgestorbene Lebewesen und Ausscheidungen von Lebewesen sinken als Aggregate in die Tiefe (organ. Sedimentation). Der größte Teil des sinkenden Materials wird gefressen oder von Mikroorganismen zersetzt. Hierbei wird wieder CO₂ freigesetzt und gelangt damit zurück in den Wasserkörper. Der Teil, der weder gefressen noch zersetzt wird, gelangt ins Sediment. Der Kohlenstoffkreislauf im Benthos ist komplexer. Hier sind die Bakterien im Sediment (heterotrophe, anaerobe Bakterien) bedeutsam, die das organ. Material, das aus der Oberschicht sedimentiert, zur Energiegewinnung nutzen können. Dabei wird CO₂ ins Wasser abgegeben und in den Kreislauf zurückgeschleust. Außerdem können Bakterien im Wasserkörper unter anaeroben Bedingungen CO₂ zur Chemosynthese nutzen und hiermit ins Nahrungsnetz zurückschleusen. Da der tiefe Ozean kaum durchmischt wird, kommt es hier zu CO₂-Verlusten des Kreislaufs, zumindest für sehr lange Zeit, da das CO₂ nicht mithilfe von Durchmischungen zurück an die Oberfläche gelangen kann.

Der physikalische Kreislauf basiert auf ozeanischen Zirkulationen, mit denen CO₂ ebenfalls in die Tiefe transportiert wird. Der Träger ist hier das Wasser selbst. Die transportierte Menge an Kohlenstoff ist in der physikalischen Pumpe bedeutend höher als in der biologischen Pumpe.

²³ Im Benthos kann DOC weiterhin durch Gärung gebildet werden.

Der Stickstoffkreislauf

Stickstoff kommt als atmosphärischer N₂ in der Luft (78% Volumenanteil der Luft) und als gebundener Stickstoff (N) in organ. Verbindungen (organ. N-Verbindungen wie Proteinen, Nukleinsäuren und Vitaminen) von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen vor. Außerdem kommt Stickstoff in anorganischer Form als Ammoniak (NH₃), Ammonium (NH₄⁺), Nitrit (NO₂⁻) und Nitrat (NO₃⁻) vor. 99% des gesamten Stickstoffs der Erde ist in der Atmosphäre. Direkt verfügbar ist der elementare Stickstoff nur für bestimmte Bakterien bzw. Pflanzen, die in Symbiose mit solchen Bakterien leben. Alle anderen Lebewesen sind auf den Stickstoffkreislauf angewiesen.

In der folgenden Abbildung (Abb. 6) ist der Stickstoffkreislauf vereinfacht dargestellt. Der Stickstoffkreislauf des Meeres ist zur Atmosphäre hin offen. Es kommt zu Einträgen aus und Abgaben in die Atmosphäre. Luftstickstoff assoziiert an Wassermoleküle und Partikel. Partikulärer Stickstoff sinkt ins Sediment ab. Daneben gelangt Stickstoff durch die Zufuhr von Wasser (Flusseinmündungen, Regen, Saurer Regen) in das Meer und gelangt meist als Nitrat (NO₃⁻) in den Stickstoffkreislauf. Pflanzen können Stickstoff nur als NH₄⁺ oder bevorzugt als NO₃⁻ aufnehmen (assimilieren) und nutzen (Ausnahme sind Cyanobakterien) [s. Abb. 6: Pfeil 1: Nitrat wird assimiliert und eingebaut in organ. N-Verbindungen der Pflanzen]. Daher muss der N₂ in diese verfügbaren Formen umgewandelt werden. Ist der molekulare Stickstoff in den Stickstoffkreislauf eingeschleust, können die anorganischen Stickstoffverbindungen auch ohne N₂ gewonnen werden.

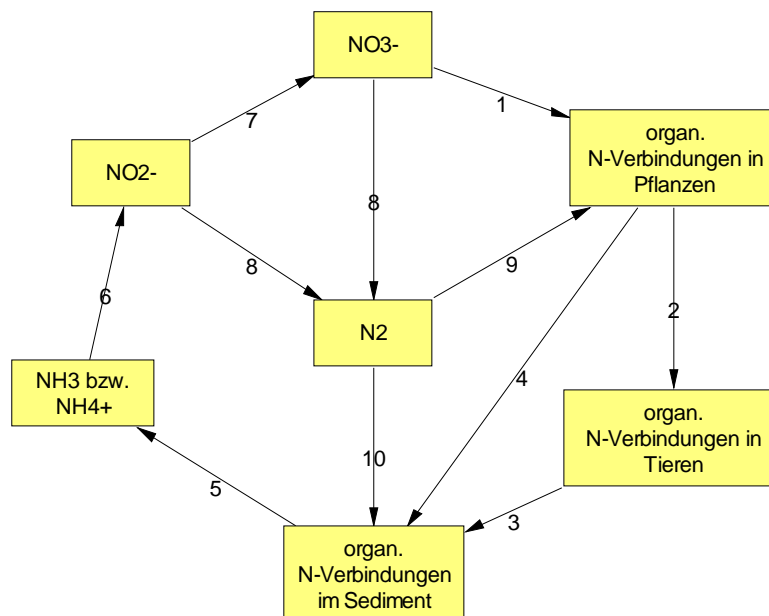


Abb. 6: Stickstoffkreislauf – ein Concept Map

Erklärungen, s. Text. Abkürzungen: NH₃, Ammoniak; NH₄⁺, Ammonium; NO₂⁻, Nitrit; NO₃⁻, Nitrat; Nummern (Synonyme) an den Pfeilen, s. Tabelle 1.

Tabelle 1: Synonyme (Nummern) für Pfeilbeschriftungen der Abb. 6 (Stickstoffkreislauf)

Pfeil (Nummer)	Beschriftung
1	wird assimiliert und eingebaut in
2	wird über Nahrungskette zu
3	sinken ab und sind dann
4	sinken ab und sind dann
5	werden mittels Ammonifikation zu
6	werden über Nitrifikation (Schritt 1) zu
7	werden über Nitrifikation (Schritt 2) zu
8	wird über Denitrifikation zu
9	wird mithilfe von in Symbiose lebender Bakterien gebunden (Stickstofffixierung) in
10	wird durch Bakterien gebunden (Stickstofffixierung)

Die Stickstofffixierung von elementarem N₂ ist sehr energieaufwendig (946 kJ pro Mol). Es gibt zwei Prozesse zur natürlichen Stickstoff-Fixierung. Zum einen können aus Stickstoff und Sauerstoff der Luft durch Blitzschlag bei Gewittern oder durch Verbrennungen Stickoxide entstehen, die mit Wassertröpfchen in der Atmosphäre zu Salpetriger Säure bzw. Salpetersäure reagieren und als Saurer Regen in das Meer gelangen. Zum anderen können spezielle Bakterien den Luftstickstoff fixieren. Sie besitzen Nitrogenase-Enzyme und können elementaren Stickstoff zu Ammoniak reduzieren. Die Bakterien leben entweder frei (z. B. Cyanobakterien) [s. Abb. 6: Stickstoffeintrag in den Kreislauf symbolisiert in Pfeil 10] oder in Symbiose mit Pflanzen (z. B. Rhizobium) [s. Abb. 6: dargestellt mit Pfeil 9].

Pflanzen assimilieren Nitrat, d. h. nehmen Nitrat auf und bauen es in ihre organ. N-Verbindungen ein. Über die Nahrungskette wird der Stickstoff in tierisches Protein eingebaut [s. Abb. 6, Pfeil 2]. Nach dem Absterben der Pflanzen oder Tiere, also Organismen werden aus den pflanzlichen bzw. tierischen organ. N-Verbindungen nach dem Absinken organ. N-Verbindungen im Sediment [s. Abb. 6, Pfeile 3 und 4]. Diese organ. N-Verbindungen werden von Mikroorganismen abgebaut. Der Abbau erfolgt bis zum Ammoniak (NH₃) bzw. Ammonium (NH₄⁺) [s. Abb. 6, Pfeil 5] und wird als Ammonifikation bezeichnet. Als Ammoniak (NH₃) ist Stickstoff toxisch. Außerdem werden Ammonium-Ionen auch über die Ausscheidungen von Fischen in den Kreislauf rückgeschleust. Die Oxidation von Ammonium zu Nitrat erfolgt mithilfe von Mikroorganismen (Nitrifikanten). Der Prozess wird als Nitrifikation bezeichnet und erfolgt in zwei Schritten. Nitrifikanten werden in der Familie der *Nitrobacteriaceae* zusammengefasst. Sie sind chemolithotroph. Sie verwenden anorganische NH₄⁺-Verbindungen als H₂-Donatoren und verwenden als C-Quelle CO₂ (chemolithoautotroph). In einem ersten Schritt wird Ammonium zu Nitrit oxidiert und in einem zweiten Schritt wird Nitrit zu Nitrat oxidiert [s. Abb. 6, Pfeile 6 und 7]. Nach der Nitrifikation stehen den Pflanzen NO₃⁻-Ionen als Nährsalze zur Verfügung. Dieser Kreislauf ist offen, da über die Denitrifikation aus NO₃⁻ N₂ gebildet werden kann, der an die Atmosphäre abweichen kann [s. Abb. 6, Pfeile 8]. Denitrifikation wird in Analogie zur Atmung auch als Nitratatmung bezeichnet. Diese Reaktionen werden von diversen Bakterien durchgeführt, z. B. *Thiobacillus denitrificans*.

II.4.1.4 Ernährungsformen und Zellstoffwechsel

Autotrophie und Heterotrophie

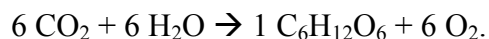
Autotrophie wird in Bezug auf die Elemente und deren Einbau in organ. Biomasse (Assimilation) definiert. Autotrophe Lebewesen stehen am Anfang der Nahrungskette und werden als Primärproduzenten bezeichnet. Die Primärproduzenten benötigen neben einer anorganischen Kohlenstoffquelle noch eine Energiequelle und ein Reduktionsmittel. Das Reduktionsmittel wird für die Reduktion des Kohlenstoffs benötigt, der im Kohlendioxid oxidiert vorliegt. Als Energiequelle kann Licht (Phototrophie) oder Reaktionsenergie (Chemotrophie) genutzt werden.

Heterotrophe Lebewesen nutzen organ. Kohlenstoffquellen für ihren Baustoffwechsel. Sie nehmen organ. Substanz auf und nutzen diese für die eigene Biomasseproduktion. Heterotrophe Organismen werden als Konsumenten bezeichnet.

Lebewesen können auch für andere Elemente als Kohlenstoff autotroph sein. Sie bauen diese Elemente in anorganischen Verbindungen in organ. Substanz ein. Manche Organismen sind für Kohlenstoff heterotroph und für ein anderes Element autotroph, z. B. stickstofffixierende Bakterien (Nostocaceae).

Fotosynthese

Kohlenstoffautotrophe Lebewesen nutzen Kohlendioxid bzw. Hydrogencarbonat als Kohlenstoffquelle zum Aufbau organ. Substanzen. Die bedeutsamsten autotrophen Lebewesen sind die fotosynthetisch aktiven Pflanzen, im Wasser sind das hauptsächlich die Lebewesen des Phytoplanktons. Die Fotosynthese der grünen Pflanzen besteht aus zwei Schritten. In der Primärreaktion (Lichtreaktion) wird die Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt [Adenosintriphosphat (ATP), Photophosphorylierungen]. Diese chemische Energie wird in Reduktionsenergie umgewandelt (NADP wird zu NADPH₂ reduziert). Wasser (bzw. bei grünen Schwefelbakterien und Schwefelpurpurbakterien: Schwefelwasserstoff) wird dabei gespalten. In den Sekundärreaktionen (Dunkelreaktionen) wird die Energie und das gewonnene Reduktionsmittel für den Einbau von CO₂ in organ. Substanz genutzt. Die einfache Summenformel der Fotosynthese für Cyanobakterien, Prochlorobakterien, Algen und Pflanzen lautet²⁴:



Diese Organismen bilden unter Aufnahme von Kohlendioxid (CO₂), Wasser (H₂O) und Nährstoffen mithilfe von Lichtenergie und unter Abgabe von Sauerstoff (O₂) Glukose (C₆H₁₂O₆) als Ausgangsmolekül für organ. Biomasse.

Fotorespiration

Die Fotorespiration ist sozusagen ein Nebenweg der fotosynthetischen Sekundärreaktion (Dunkelreaktion). Das Schlüsselenzym der Sekundärreaktion (Dunkelreaktion) ist die Ribulose-1.5-bisphosphat-Carboxylase/Oxygenase (Rubisco). Dieses Enzym hat zwei Aktivitäten. Zum einen katalysiert Rubisco die Carboxylierung von Ribulose-bisphosphat zu zwei 3-Phosphoglycerat-Molekülen, was die eigentliche CO₂-Fixierung der Fotosynthese ist.

²⁴ Unter Einbeziehung des Calvin Zyklus müssen 6 H₂O auf jede Seite der Reaktionskette hinzu gefügt werden.

Darüber hinaus katalysiert Rubisco auch die Oxygenierung des Ribulosebiphosphates zu 3-Phosphoglycerat und 2-Phosphoglycolat. Es liegt ein Gleichgewicht zwischen der Oxygenase-Aktivität und der Carboxylase-Aktivität der Rubisco vor. Ab einem bestimmten Sauerstoffpartialdruck ist die Oxygenase-Aktivität erhöht und die Carboxylase-Aktivität erniedrigt. Mithilfe der Oxygenaseaktivität der Rubisco kann Ribulose-1.5-bisphosphat recycelt werden. Dieses Recycling erfolgt mithilfe des 2-Phosphoglycolats, das über komplexe Reaktionen, an denen neben den Chloroplasten zwei weitere Zellkompartimente beteiligt sind (Peroxisomen und Mitochondrien) zur Bildung von Ribulose-1.5-bisphosphat dient. Durch die Oxygenierung in diesem Fotorespirationsweg wird der Sauerstoffpartialdruck herabgesetzt, damit ist die Oxygenaseaktivität der Rubisco herabgesetzt und die Carboxylase-Aktivität erhöht. Die fotosynthetische CO₂-Fixierung kann fortgesetzt werden (Heldt, 1996). Die Fotorespiration läuft im Licht ab. Wichtiger Unterschied zwischen der Fotorespiration und der eigentlichen Respiration (Zellatmung, auch Dissimilation genannt) ist, dass bei der Fotorespiration Energie in Form von Adenosintriphosphat (ATP) verbraucht wird und bei der eigentlichen Respiration Energie in Form von ATP gewonnen wird, indem Substrate zu CO₂ oxidiert werden.

Chemosynthese

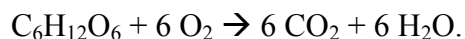
Chemosynthese ist eine autotrophe Ernährungsform bestimmter Bakterien, deren Energiequelle Redoxreaktionen sind (U. Sommer, 1998, S. 82). Es handelt sich zumeist um die Oxidation anorganischer Verbindungen (chemosynthetische Oxidation). Eine Beispielreaktion für eine Chemosynthese, in der Sauerstoff als Oxidationsmittel dem Wasserkörper entzogen wird, ist der erste Schritt der Nitrifikation, in dem Nitritbakterien als Reduktionsmittel Ammonium-Ionen (NH₄⁺) nutzen:



Die Ammonium-Ionen (NH₄⁺) stammen meist aus anaeroben Abbauprozessen organ. Substanzen, wobei Ammonium auch durch Exkretion von Tieren in den aeroben Wasserkörper abgegeben wird.

Respiration

Respiration, auch Atmung genannt, ist ein O₂-verbrauchender Prozess. Organismen gewinnen mittels Respiration Energie, indem organ. Substanz oxidativ abgebaut wird. Darüber hinaus kann Energie, wenn auch anteilig deutlich geringer, über Gärungsprozesse gewonnen werden. Obwohl die Stoffwechselprozesse völlig verschieden sind, entspricht die Summenformel der aeroben Atmung einer direkten Umkehrung der oxygenen Fotosynthese:



Die aerobe Atmung ist die hauptsächliche Art der Energiegewinnung bei Pflanzen und Tieren, Pilzen und aeroben heterotrophen Bakterien.

II.4.1.5 Marine Nahrungsbeziehungen

Im Folgenden wird der Begriff Nahrungsnetz eingeführt, indem zunächst die Nahrungskette vorgestellt wird, dann der Nahrungskreislauf und am Schluss das Nahrungsnetz.

Autotrophe Lebewesen stehen am Anfang der Nahrungskette und werden als Primärproduzenten bezeichnet. Allgemein betrachtet setzen sich Nahrungsbeziehungen aus Räuber-Beute-Beziehungen zusammen. In dieser Beziehung zeigt sich eine phasenverschobene Oszillation der Räuber- und der Beute-Populationen. Der Räuber braucht eine minimale Beutedichte, um eine positive Nettowachstumsrate zu erzielen. Umgekehrt muss die Beute ab einer gewissen Räuberdichte abnehmen, da mehr Beuteindividuen gefressen werden als nachwachsen können. In der klassischen Nahrungskette werden fünf trophische Ebenen unterschieden.

Tabelle 2: Trophieebenen der klassischen marinen Nahrungskette

Ebene 0	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Ebene 4
Licht CO ₂ Nährstoffe	Phytoplankton	Zooplankton	Fische	Raubfische

In die Ebene 0 werden die abiotischen Ernährungsvoraussetzungen des Phytoplanktonwachstums, also Licht, Kohlendioxid und mineralische Nährstoffe zugeordnet. In die Ebene 1 werden die Primärproduzenten im Pelagial, das Phytoplankton eingeordnet. Der Ebene 2 sind die Primärkonsumenten, die herbivoren Zooplanktonten zugeordnet und in der Ebene 3 die Sekundärkonsumenten (Carnivore 1. Ordnung). Zu letzteren gehören auch Fische, die Zooplankton fressen. Die Tertiärkonsumenten (Carnivore 2. Ordnung), die Raubfische, finden sich in der Ebene 4.

Die Betrachtung der Produktivität in den einzelnen Trophieebenen zeigt, dass sie mit der Trophieebene stark abnimmt: Die Lebewesen des Phytoplanktons produzieren ihre eigene Biomasse ca. 70-mal pro Jahr. Das herbivore Zooplankton produziert seine eigene Biomasse ca. 26-mal pro Jahr und die Sekundärkonsumenten nur noch 1.7-mal.

Die Nahrungskette stellt eine Vereinfachung der tatsächlichen Fraßbeziehungen in einer Lebensgemeinschaft dar. Ein reales Nahrungsgefüge ist keine Kette, sondern ein Netz. In Bezug auf die Biomasse liegt ein Kreislauf vor, in dem permanent remineralisiert wird: Heterotrophe **Bakterien** ernähren sich von ausgeschiedenen organ. Nährstoffen, wie z. B. organ. Stickstoffverbindungen (**organ. N-Verbindungen**) und auch abgestorbenen Organismen. Sie setzen die Mineralien wieder frei und bringen damit die offenen Enden der Nahrungskette zu einem Nahrungskreislauf zusammen. Dieser Vorgang wird Remineralisierung genannt. Die Bakterien kommen sowohl im Pelagial als auch im Sediment vor. Darüber hinaus können organ. Substanzen durch Einträge von außen ins marine System gelangen (allochthoner Eintrag, wie landwirtschaftliche Düngung über Flussmündungen) und das Gleichgewicht des marinen Nährstoffkreislaufs stören. Die Rückschleusung von Nährstoffen in den Kreislauf erfolgt zum einen durch den bakteriellen Abbau organ. Substanz

und zum anderen aus den Ausscheidungsprodukten der Lebewesen direkt, denn diese enthalten auch anorganische Nährstoffe, die wieder in Lösung gehen. Die zurückgeschleusten Nährstoffe stehen dann dem Phytoplankton wieder für die fotosynthetische Biomasse Produktion zur Verfügung. Die Bakterien selbst werden nach ihrem Absterben ein Teil der organ. Substanz und als solche mineralisiert. Im idealen System gäbe es keine Nährstoffverluste, was für das reale System nicht gilt. Es gibt Nährstoffverluste durch schnell sinkende Biomasse. Wenn diese am Meeresboden nicht von Bakterien remineralisiert wird, lagert sie sich im Sediment ab.

Unter ungünstigen Umweltbedingungen, z. B. Nährstoffmangel und damit verbundenem eingeschränktem Phytoplanktonwachstum, können viele Zooplankter (herbivore und omnivore) ihre Ernährung von Phytoplankton auf Bakterien umstellen. Diese Schleife im Nahrungskreislauf bezeichnet man als mikrobielle Schleife (dargestellt mit gelben Pfeilen in der Abb. 7). Organismen höherer Trophieebenen (ab Ebene 2) sind auf die Zufuhr von Biomasse angewiesen. Bleibt diese Zufuhr durch das Phytoplankton aus, kann die mikrobielle Schleife den Erhalt dieser höheren Trophieebenen unterstützen. Der Nahrungskreislauf wird sozusagen in Notzeiten „kurzgeschlossen“.

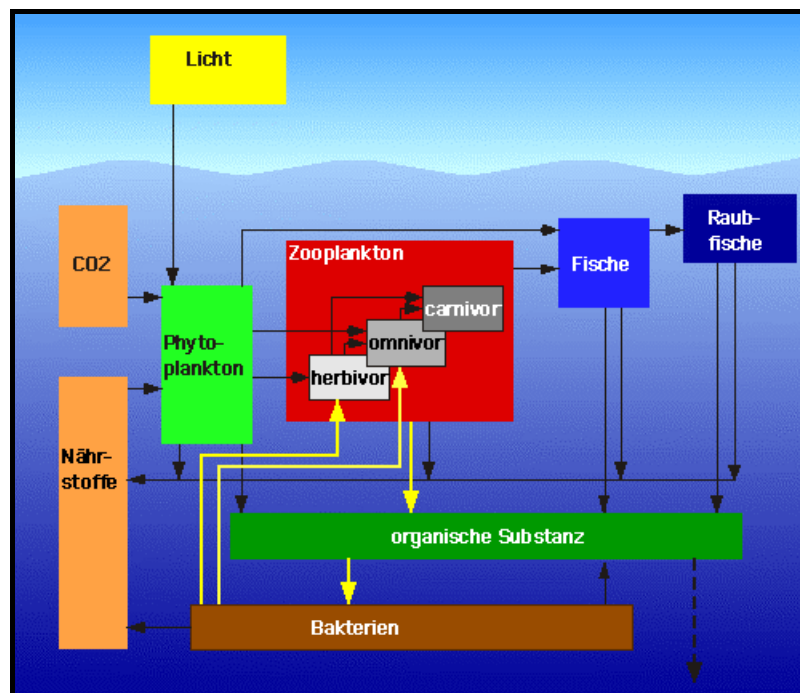


Abb. 7: Mariner Nahrungskreislauf mit mikrobieller Schleife

Erklärungen s. Text. Abbildung aus Kreft (2002), Online-Publikation.

Die mikrobielle Schleife ist eine Art „Kurzschluss“ des Nahrungskreislaufs der verschiedenen Trophieebenen und gewährleistet bzw. unterstützt unter ungünstigen Umweltbedingungen den Erhalt der Trophieebenen ab der Ebene 2.

II.4.2 Zusammenfassung

Auf der Basis der vorgestellten fachwissenschaftlichen Konzepte wurden in der vorliegenden Arbeit folgende biologische Konzepte im Detail untersucht:

- Gasaustausch (CO_2 und O_2) zwischen Atmosphäre und Wasser,
- Fotosynthese und Nährstoffe,
- Respiration des Phytoplanktons,
- Respiration heterotropher Lebewesen,
- Einfache Nahrungskette,
- Mikrobielle Schleife,
- Nahrungskreislauf durch Remineralisation,
- Stickstoffkreislauf und Nitrifikation.

II.5 Forschungsfragen und Hypothesen

In der vorliegenden Evaluationsstudie NaT-Working „Meeresforschung“ wurde in erster Linie die Interessenentwicklung von Schülern der Sek II untersucht, die ein Schülerprojekt in NaT-Working „Meeresforschung“ durchgeführt haben. Damit wurde die Wirksamkeit dieses Projekts geprüft und potenzielle Einflussvariablen ermittelt. Aufgrund des Zusammenhangs zwischen Interesse und Wissen wurde das Wissen und dessen Entwicklung ebenfalls untersucht.

In der Evaluationsstudie sollten die folgenden übergeordneten Forschungsfragen beantwortet werden:

- 1. Fördert die Durchführung von Schülerprojekten in NaT-Working „Meeresforschung“ bei den teilnehmenden Schülern das Interesse?**
- 2. Fördert die Durchführung von Schülerprojekten das Wissen über Meereskunde sowie das Verständnis für das Verhalten komplexer Systeme in der Natur?**
- 3. Gibt es eine Wechselwirkung zwischen der Interessen- und Wissensentwicklung?**

Diese übergeordneten Fragen werden mit Bezug auf die zugrunde gelegte Theorie im Folgenden präzisiert, anschließend werden die Hypothesen vorgestellt. Die Forschungsfragen und entsprechenden Hypothesen beziehen sich auf Schüler, die ein Gruppenprojekt in NaT-Working „Meeresforschung“ durchgeführt haben.

1. Wird mit einem Schülerprojekt in NaT-Working „Meeresforschung“ das Interesse an dem naturwissenschaftlichen Schulfach und einem naturwissenschaftlichen Berufswunsch gefördert?

Im Laufe der Schulzeit zeigt sich eine Abnahme an themenspezifischen Interessen bei den Schülern (Gardner, 1985; Baumert & Köller, 1996; Krapp, 1998). Dies zeigt sich sehr deutlich in den naturwissenschaftlichen Fächern, insbesondere von der fünften zur siebenten Jahrgangsstufe (Hesse, 1984; Hoffmann et al., 1998; Kögel et al., 2000; Krapp, 2002a).

Die Gestaltung der Lernumgebung hat unter anderem einen Einfluss auf das Interesse. Darin sind die Handlungsmöglichkeiten für das Interesse besonders wichtig, da Aktivitäten, welche die Schüler im Unterricht bzw. in der Lernumgebung interessant finden, zur Interessenentwicklung beitragen können (Hartinger, 1997). Das Interesse an einem Inhalt oder Fach hängt neben den Handlungen bzw. Tätigkeiten von dem Kontext, in den dieser Inhalt eingebettet ist, ab (Hoffmann et al., 1998).

Hypothese 1.1

Mit der Teilnahme an einem NaT-Working Projekt steigt das Fachinteresse der Schüler.

Für eine Interessenentwicklung sind Lernsituationen förderlich, in denen authentische Probleme bearbeitet werden (Honebein et al., 1993). Authentizität kann sich entweder aus dem Alltag der Schüler ergeben (Mandl et al., 1993) oder aus Anwendungssituationen der Expertenpraxis (Collins et al., 1989; Collins, 1991). In NaT-Working „Meeresforschung“ lernen die Schüler in authentischer Umgebung Naturwissenschaften kennen, indem sie eine eigene Forschungsfrage wie Wissenschaftler in einer Forschungseinrichtung bearbeiten. Daraus ergab sich folgende Hypothese:

Hypothese 1.2

Mit der Teilnahme an einem NaT-Working Projekt steigt das Interesse an einem naturwissenschaftlichen Beruf.

Im Zentrum der Schülerprojekte steht die Bearbeitung einer Forschungsfrage und das damit verbundene Erarbeiten bzw. Erlernen der fachlichen Inhalte. Die Interessenuntersuchung der vorliegenden Studie konzentrierte sich deshalb, neben dem Fachinteresse und dem Interesse an einem naturwissenschaftlichen Beruf, auf die epistemische Komponente des Interesses (s. Kap. II.1.1, Abschnitt „Individuelle Ausprägungen des Interesses“). Das zugrunde gelegte Interessenkonstrukt basiert auf der relationalen Struktur der Bedeutungsvarianten des Interessenkonstrukts von Krapp (s. Abb. 1). Da mit den Projekten in NaT-Working weniger das Interesse während des Projekts gefördert werden sollte, sondern vielmehr das langfristige individuelle Interesse, konzentrierte sich die Studie auf das individuelle Interesse und das aktualisierte individuelle Interesse. Die epistemische Komponente des individuellen Interesses wurde als „Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften“ untersucht (Hoffmann et al., 1998; Hoffmann, 2002). Die entsprechende Komponente des aktualisierten individuellen Interesses wurde als „durch das Projekt induziertes Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen“ untersucht (Hoffmann et al., 1998).

2.1 Hängt die Ausprägung des längerfristigen Interesses an der Beschäftigung mit Projektthemen bei den Schülern von ihrem Interesse an Naturwissenschaften ab, das sie bereits vor Projektbeginn haben?

Das „Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften“ wurde zusätzlich zum „durch das Projekt induzierten Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen“ erhoben. Die Projektthemen waren alle aus einem naturwissenschaftlichen Bereich, somit war ein inhaltlicher Zusammenhang mit den Naturwissenschaften gegeben. In Anlehnung an die relationale Struktur der Interessenvariablen nach Krapp (s. Abb. 1) war ein positiver Zusammenhang zwischen dem individuellen und aktualisierten individuellen Interesse zu erwarten. Hoffmann et al. (1998) zeigten, dass das „Informationsinteresse in der Freizeit mit Physik“ eine signifikante Vorhersagevariable für das „durch den Physikunterricht induzierte Interesse an Physik“ ist. Analog sollte das „Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften“ das „durch das Projekt induzierte Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen“ beeinflussen.

Hypothese 2.1

Das durch das Projekt induzierte Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen ist umso größer, je höher das Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften ist, das die Schüler bereits vor ihrer Projektteilnahme entwickelt haben.

2.2 Besteht ein positiver Zusammenhang zwischen dem Interesse und dem Selbstkonzept?

Für die Entwicklung und Stabilisierung von Interessen einer Person an einem Gegenstand ist das Selbstkonzept in Bezug auf diesen Gegenstand bedeutsam (s. Kap. II.3.1). Eine starke Identifikation mit dem Gegenstand von Interesse hat positive Effekte auf das entsprechende Interesse (Köller et al., 2000).

Hoffmann et al. (1998) haben ein Variablenmodell (s. Abb. 2) formuliert und zeigten eine besonders ausgeprägte Vorhersagestärke des Selbstkonzepts für die Entwicklung ihrer untersuchten Interessevariablen (s. a. Köller et al., 2000; Krapp, 2002b; Engeln, 2004). So zeigten Hoffmann et al. (1998) unter anderem einen positiven Zusammenhang zwischen dem Persönlichkeitsmerkmal „Selbstkonzept im Fach Physik“ und dem „Informationsinteresse in der Freizeit an Physik und Technik“. Interessegeleitetes Lernen und damit die Entwicklung und Veränderung von epistemischem Interesse, steht in einem positiven Zusammenhang mit dem Selbstkonzept der Person (Krapp, 2001). In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998) wurde in der vorliegenden Arbeit das „Selbstkonzept im Fach“ und das „Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften“ erhoben. Es war zu erwarten, dass sich die von Hoffmann et al. (1998) gezeigten Zusammenhänge auch in der Stichprobe der vorliegenden Arbeit, also in einem außerschulischen Projekt zeigen. Diese Annahme wurde außerdem durch den von Krapp (2001) gezeigten Zusammenhang zwischen dem epistemischen Interesse und dem Selbstkonzept einer Person unterstrichen.

Hypothese 2.2.A

Je höher das Selbstkonzept im Fach ist, desto größer ist das Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften.

Das „durch das Projekt induzierte Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen“ beinhaltet, ebenso wie das „Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften“, die epistemische Orientierung des Interesses. In beiden Skalen wird das Interesse der Schüler an der Beschäftigung mit einem Gegenstand in der Freizeit erhoben. Dabei ist die Beschäftigung mit Projektthemen spezifischer als die Beschäftigung mit Naturwissenschaften. Somit wurde in der vorliegenden Studie neben H.2.2.A. folgende Hypothese geprüft:

Hypothese 2.2.B

Je höher das Selbstkonzept im Fach ist, desto größer ist das durch das Projekt induzierte Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen.

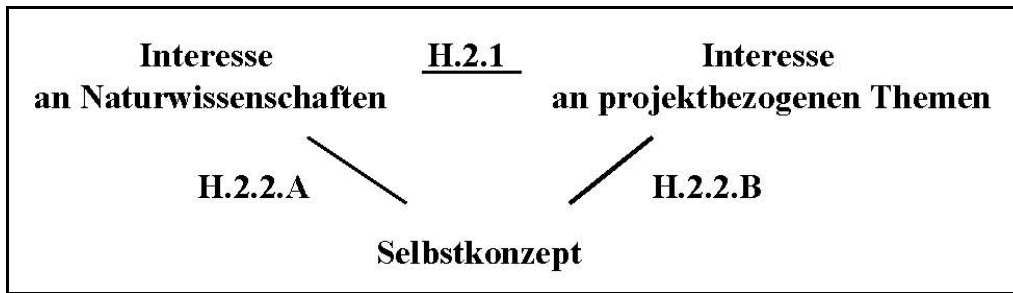


Abb. 8: Hypothesen H.2.1 und H.2.2

Hypothetischer Zusammenhang zwischen dem Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften (Interesse an Naturwissenschaften), dem durch das Projekt induzierten Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen (Interesse an Projektthemen) und dem Selbstkonzept im Fach (Selbstkonzept) mit Angabe der Hypothesen.

Die Interessantheit der Lernumgebung wurde in Anlehnung an die relationale Struktur des Interesses von Krapp (1992a, 2002a) in Beziehung zu den Interessevariablen gesetzt.

2.3 Fördert die Interessantheit der Lernumgebung das Interesse an Projektthemen?

Die Untersuchung erfolgte in Anlehnung an die Hintergrundvariablen von Hoffmann et al. (1998) sowie der Dimension „Tätigkeiten“ des von ihnen untersuchten Sachinteresses. Als Interessantheit wurden die Unterrichtsmerkmale von Hoffmann et al. (1998) als Projektmerkmale bzw. Projektfaktoren untersucht sowie die Schülerinteressen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens, die im Mittelpunkt der Projekte in NaT-Working stehen.

Im Folgenden werden diese beiden Aspekte als getrennte Forschungsfragen konkretisiert.

2.3.1 Gibt es einen positiven Zusammenhang zwischen den Projektfaktoren und dem Interesse an Projektthemen?

Ausgehend von den von Hoffmann et al. (1998) beschriebenen Unterrichtsmerkmalen wurden entsprechende Projektfaktoren, die in der vorliegenden Studie untersuchten außerschulischen Lernumgebung, erhoben. Zu den Unterrichtsmerkmalen von Hoffmann et al. (1998), die als signifikante Vorhersagevariablen für das „durch den Physikunterricht induzierte Interesse an Physik“ wirken, gehören nach Hoffmann et al. (1998): Das stimulierende Unterrichtsklima, das Unterrichtsmanagement, die innere und äußere Kohärenz des Unterrichts und die Schülerbeteiligung. Als besonders starke Vorhersagevariable hat sich das „stimulierende Unterrichtsklima“ gezeigt. Auch Eder (1992) zeigte, dass positive Klimaerfahrungen bei Schülern zur Verstärkung von Interessen an Unterrichtsgegenständen führen. Als Projektfaktoren wurden somit das Projektklima, das Projektmanagement, die Schülerbeteiligung und die innere und äußere Kohärenz des Projekts erhoben (s. Kap. II.1.2). Eine innere Kohärenz ist dann gegeben, wenn sich die kommunikativen Lernprozesse auf intraspezifische Projektkomponenten beziehen. Äußere Kohärenz ist dann gegeben, wenn der Schüler die zu lernenden Inhalte in einem Kommunikationsprozess mit seiner Lebenswelt verbinden kann.

Ausgehend von den Ergebnissen der Studie von Hoffmann et al. (1998) wurde angenommen, dass das Erleben der Projektfaktoren (Interessantheit) in wechselseitiger Beziehung zum „durch das Projekt induzierten Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen“ steht.

Hypothese 2.3.1.A

Je besser die Projektfaktoren bewertet werden, desto höher ist das durch das Projekt induzierte Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen.

Die Interessenvariablen wurden in die relationale Struktur von Krapp (1992a, 2002a) gestellt, weshalb ein Zusammenhang zwischen dem individuellen und dem aktualisierten individuellen Interesse angenommen wurde (s. H.2.1), sowie zwischen dem individuellen Interesse und der Interessantheit der Lernumgebung. Deshalb wurde außerdem folgende Hypothese untersucht:

Hypothese 2.3.1.B

Je höher das Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften ist, desto besser werden die Projektfaktoren bewertet.

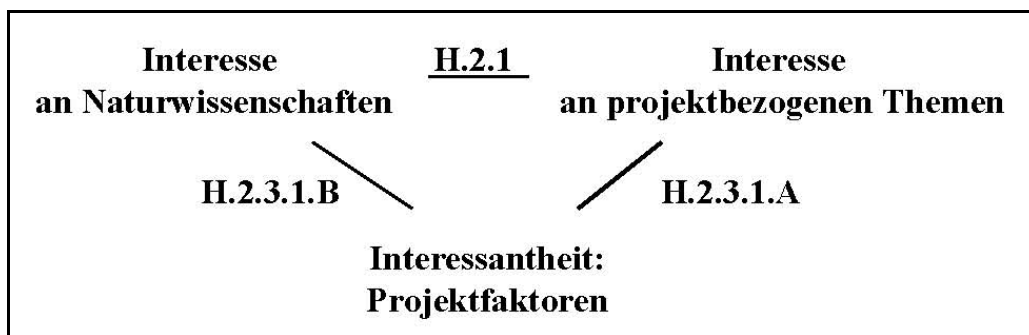


Abb. 9: Hypothesen H.2.1 und H.2.3.1.A und B

Hypothetischer Zusammenhang zwischen dem Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften (Interesse an Naturwissenschaften), dem durch das Projekt induzierten Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen (Interesse an Projektthemen) und der Interessantheit der Lernumgebung (Projektfaktoren) mit Angabe der Hypothesen.

2.3.2 Gibt es einen positiven Zusammenhang zwischen den Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens und den Interessen an Naturwissenschaften und Projektthemen?

Nach Hoffmann et al. (1998) setzt sich das Sachinteresse aus dem Interesse an einem Inhalt, einem Kontext und ausgewählten Tätigkeiten zusammen. Bei den Autoren zeigte sich, dass das Interesse an Tätigkeiten das Interesse an einem Inhalt beeinflusst. Die Analyse der Interessen an Tätigkeiten wurde in der vorliegenden Studie, ausgehend von der Dimension „Tätigkeiten“ des von Hoffmann et al. (1998) untersuchten Sachinteresses, angelegt. Die Komponenten des kognitiven Modells zur Kompetenz des Experimentierens von Klahr (2000) wurden zur Präzisierung der Operationalisierung von Hoffmann et al. (1998) einbezogen (s. Kap. II.1.2).

Untersucht wurde das Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (I), das Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (II), in welche die Komponenten des kognitiven Modells von Klahr als Interessenkonstrukt einbezogen wurden, und das Interesse an instrumentellen Tätigkeiten (III).

Der vorliegenden Studie liegt die Annahme zugrunde, dass das Interesse an einem Inhalt, hier den Projektthemen, also dem „durch das Projekt induzierten Informationsinteresse in der

Freizeit an Projektthemen“, von dem Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen mediert wird. Außerdem wird das Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens als Interessantheit der Lernumgebung angenommen und in die relationale Struktur des Interesses nach Krapp (1992a, 2002a) eingeordnet. Daraus haben sich die folgenden Hypothesen ergeben (s. a. Abb. 10).

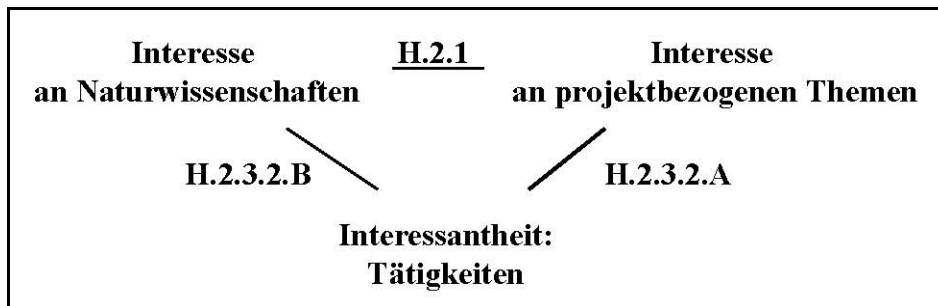


Abb. 10: Hypothesen H.2.1 und H.2.3.2.A und B

Hypothetischer Zusammenhang zwischen dem Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften (Interesse an Naturwissenschaften), dem durch das Projekt induzierten Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen (Interesse an Projektthemen) und der Interessantheit der Lernumgebung, hier den Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens (Tätigkeiten), mit Angabe der Hypothesen.

Hypothese 2.3.2.A

Je höher das Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens im Projekt ist, desto größer ist das durch das Projekt induzierte Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen.

Hypothese 2.3.2.B

Je höher das Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften ist, desto höher ist das Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens im Projekt.

3.1 Fördert die Durchführung von Schülerprojekten das Wissen über Meereskunde sowie das Verständnis für das Verhalten komplexer Systeme in der Natur?

NaT-Working stellt eine konstruktivistisch gestaltete Lernumgebung dar. Der Wissensaufbau ist an die Lernsituation geknüpft, in der mithilfe naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen realistische Probleme in authentischer Umgebung einen Anwendungskontext für das zu erwerbende Wissen finden [s. *Cognitive Apprenticeship Ansatz* (Gerstenmaier & Mandl, 1995)]. Die Schüler sollen im Rahmen ihres Projekts eine Fragestellung selbstständig mit der Unterstützung von Experten und mithilfe naturwissenschaftlicher Methoden bearbeiten. Das beinhaltet die Erarbeitung des fachlichen Hintergrundwissens und eine Wahl der geeigneten Methode zur Bearbeitung der Forschungsfrage, womit die Schüler einen Datensatz generieren. Mit der Auswertung der Daten können die Schüler, wie echte Wissenschaftler, die eingangs gestellte Forschungsfrage prüfen und bewerten. Mit der Bearbeitung dieser realistischen Problemstellungen, die sich auf das Meer beziehen, und den

damit verbundenen Lernprozessen während des Schülerprojekts, konnte erwartet werden, dass die Schüler Wissen über einen Inhaltsbereich der Meereskunde aufbauen. Mit steigender Expertise in einer Domäne steigt neben dem impliziten Wissen auch die Elaboriertheit und Integration des expliziten Wissens (Collins et al., 1989). Somit wurde erwartet, dass das deklarative Wissen (Kap. II.2.1) mit der Durchführung des Schülerprojekts wächst. Mit der Zunahme an Wissen und insbesondere der Elaboriertheit und Integration der Wissens Elemente steigt das Verständnis in der Domäne (s. S. 24).

Hypothese 3.1.1

Mit der Teilnahme an dem Projekt steigt das Fakten- und Strukturwissen der Schüler.

Die Anzahl an Fehlkonzepten, die als fachwissenschaftlich falsche Konzepte gelten, sinkt mit dem Aufbau von fachwissenschaftlich richtigem Wissen (Novak & Gowin, 1984).

Hypothese 3.1.2

Mit der Teilnahme an dem Projekt sinkt die Anzahl an Fehlkonzepten.

Wenn die Schüler in Bedeutungszusammenhängen lernen (*meaningful learning*), bauen die Schüler nach einem konstruktivistischen Verständnis von Lernen neue Konzepte in ihre bereits vorhandenen Präkonzepte ein (Mintzes & Wandersee, 1998) (s. a. Kap. II.2). Das bedeutet, dass neben der Gestaltung der Lernumgebung und des Lernprozesses das Vorwissen für den Wissensaufbau bedeutsam ist.

Hypothese 3.1.3

Je höher das Vorwissen über einen Inhalt ist, desto höher ist das aufgebaute Wissen.

3.2.1 Welche Inhalte lernen die Schüler über das Nahrungsnetz der Ostsee mit der Projektteilnahme und welche fachwissenschaftlich falschen Kanten zeigen sich in den Concept Maps?

In einer ausgewählten Domäne (Ökosystem Ostsee) wurde die Wissensentwicklung im Detail untersucht. Dies erfolgte als explorative Studie, für die keine Hypothesen formuliert werden konnten. Ziel war die systematische Aufarbeitung der Variation in den untersuchten Fällen bezüglich der erfassten Fachinhalte und falschen Kanten (Relationen) in den CM. Eine konkrete Erwartung bezüglich dieser Wissensentwicklung konnte nicht formuliert werden, da noch keine Studien über Schülerarbeiten veröffentlicht sind, in denen sich Schüler der Sek II in außerschulischer Lernumgebung wissenschaftsorientiert mit dem Ökosystem Ostsee beschäftigt haben.

3.2.2 Entwickeln die Schüler ein Verständnis über das Ökosystem Ostsee und die zugrunde liegenden Nahrungsbeziehungen?

Ein grundlegendes Verständnis von Systemen setzt sich aus folgenden Teilbereichen zusammen (s. Kap. II.2.1):

1. Bestimmung der relevanten Elemente eines Systems,
2. Finden von Beziehungen zwischen Elementen,
3. Finden von Kreisläufen im System.

Zur Untersuchung dessen, ob die Schüler in der Lage sind relevante Elemente der Nahrungsbeziehungen in der Ostsee zu bestimmen, wurden entsprechend folgende Fachkonzepte zugrunde gelegt (s. Kap. II.4.1):

- Gasaustausch (CO_2 und O_2) zwischen Atmosphäre und Wasser,
- Fotosynthese und Nährstoffe,
- Respiration des Phytoplanktons,
- Respiration heterotropher Lebewesen,
- Einfache Nahrungskette,
- Mikrobielle Schleife,
- Nährstoffkreislauf durch Remineralisation,
- Nitrifikation.

Einzelne Inhalte dieser Fachkonzepte sind auch im schulischen Lehrplan verankert. In der Schule werden sie jedoch nicht am komplexen Ökosystem Ostsee behandelt²⁵. Die Bearbeitung dieser Forschungsfrage erfolgte somit ebenfalls explorativ.

3.3 Gibt es einen positiven Zusammenhang zwischen dem Selbstkonzept und dem Wissen und Verständnis?

Studien über den Zusammenhang zwischen Selbstkonzept und Leistung zeigen einen Zusammenhang, wenn auch statistisch gering ausgeprägt (s. Kap. II.3.1). Engeln (2004) hebt hervor, dass die Bedeutung des Selbstkonzepts für das Interesse in der außerschulischen Lernumgebungen von Schülertageslaboren direkt von Merkmalen der Lernumgebung abhängt. In Anlehnung an die gezeigten Zusammenhänge zwischen Selbstkonzept und Wissen sowie zwischen Selbstkonzept und Leistung (s. Kap. II.3.1) wurde in der vorliegenden Studie ein positiver Zusammenhang zwischen dem Selbstkonzept im Fach und Wissen erwartet.

Hypothese 3.3

Je größer das Selbstkonzept im Fach ist, desto elaborierter ist das Wissen in der Domäne.

²⁵ In Schulbüchern werden ökologische Fragen am Beispiel von Binnengewässern oder dem Wald behandelt.

3.4 Besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Interessantheit der Lernumgebung und dem Wissen und Verständnis?

Situiertes Lernen ist in authentischer Umgebung und in Interaktion mit Experten lernförderlich (s. z. B. Brown et al., 1989; Collins et al., 1989). In NaT-Working stehen die Schüler vor authentischen Problemstellungen, indem sie eine Forschungsfrage in authentischer Umgebung bearbeiten. Die Schüler haben damit einen direkten Anwendungskontext für das zu erwerbende Wissen. Ein Wissensaufbau, der an Lernsituationen geknüpft ist, ist in NaT-Working insbesondere an die Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung geknüpft.

Über den Zusammenhang zwischen der Interessantheit der Lernumgebung und den Interessevariablen hinaus, wurde außerdem ein Zusammenhang zwischen der Interessantheit der Lernumgebung und dem Wissen und Verständnis in der Domäne erwartet.

Hypothese 3.4.1

Je besser die Projektfaktoren bewertet werden, desto höher ist das Wissen und Verständnis in der im Projekt behandelten Wissensdomäne ausgebildet.

Hypothese 3.4.2

Je höher das Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens ist, desto höher ist das Wissen und Verständnis in der im Projekt behandelten Wissensdomäne ausgebildet.

4. Besteht ein positiver Zusammenhang zwischen dem Interesse und dem Wissen und Verständnis?

Wird Interesse im Zusammenhang mit Wissen untersucht, ist die epistemische Komponente des Interesses bedeutsam (s. Kap. II.1.1). Wechselseitige Beziehungen zwischen Interesse und Wissen wurden in Studien zum Lernen mit Texten vielfach gezeigt (s. Kap. II.3). Korrelationsanalysen über den Zusammenhang von Interesse und Leistung zeigen eine durchschnittliche Korrelation von $r = 0.3$ (z. B. Wild et al., 2001). Da den meisten Leistungskonzeptionen in diesen Studien eine Wissensmessung zugrunde liegt, unterstreicht diese Korrelation den Zusammenhang zwischen Interesse und Wissen. Außerdem legt diese Durchschnittskorrelation für weitere Studien über den Zusammenhang zwischen Interesse und Wissen eine Größenordnung für die zu erwartende Stärke des Zusammenhangs vor.

Den untersuchten Interessenvariablen der vorliegenden Studie wurde - als epistemische Interessen - eine Beziehung zum Wissen zugeschrieben; ob das Wissen und Verständnis in wechselseitiger Beziehung zu dem Interesse steht, wurde ausgehend von den folgenden Hypothesen geprüft.

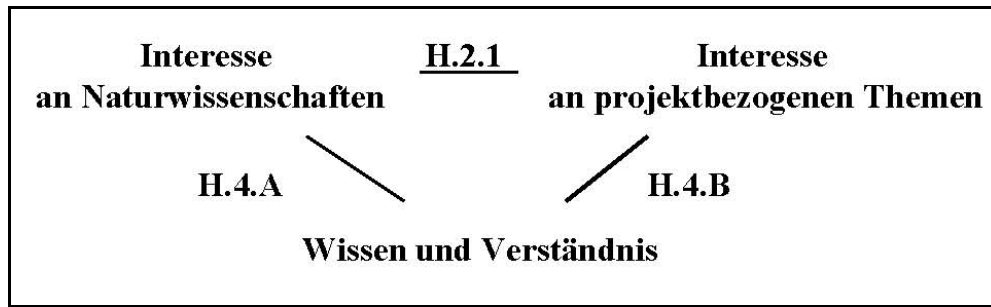


Abb. 11: Hypothesen H.2.1 und H.4.A und B

Hypothetischer Zusammenhang zwischen dem Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften (Interesse an Naturwissenschaften), dem durch das Projekt induzierten Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen (Interesse an Projektthemen) und dem Wissen und Verständnis, mit Angabe der Hypothesen.

Hypothese 4.A

Je größer das Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften ist, desto höher ist das Wissen und Verständnis in der im Projekt behandelten Wissensdomäne ausgebildet.

Hypothese 4.B

Je größer das durch das Projekt induzierte Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen ist, desto höher ist das Wissen und Verständnis in der im Projekt behandelten Wissensdomäne ausgebildet.

In der Zusammenfassung wird in den Forschungshypothesen H.1.1 und H.1.2 vermutet, dass die Teilnahme an einem Schülerprojekt in NaT-Working „Meeresforschung“ das Fachinteresse und das Interesse der Schüler an einem naturwissenschaftlichen Beruf fördert. In der Forschungshypothese H.2.1 wird ein Zusammenhang zwischen dem Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften (individuelles Interesse, epistemische Komponente) und dem durch das Projekt induzierten Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse, epistemische Komponente) angenommen. In den Hypothesen H.2.2.A und B werden Zusammenhänge zwischen dem individuellen Interesse und dem Selbstkonzept sowie zwischen dem aktualisierten individuellen Interesse und dem Selbstkonzept vermutet. In dem Hypothesenkomplex H.2.3 wird der Zusammenhang zwischen den Interessenvariablen und der Interessantheit der Lernumgebung postuliert, wobei zum einen die Projektfaktoren berücksichtigt werden (H.2.3.1) und zum anderen die Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens (H.2.3.2). Die Hypothesen unter H.3.1 beziehen sich auf die Wissensentwicklung und potenzieller Einflussvariablen. In H.3.1.1 wird eine Zunahme des Fakten- und Strukturwissens der Schüler mit der Projektteilnahme postuliert und in H.3.1.3 wird hierfür eine Vorwissensabhängigkeit angenommen. In H.3.1.2 wird außerdem angenommen, dass die Anzahl an Fehlkonzepten mit zunehmendem Wissen sinkt. In einem

explorativen Teil der Studie sollte die Wissensentwicklung über die Nahrungsbeziehungen des Ökosystems Ostsee im Detail untersucht werden (Forschungsfrage 3.2.1) sowie geprüft werden, ob die Schüler ein Verständnis über die Nahrungsbeziehungen erreichen (Forschungsfrage 3.2.2). In der Hypothese H.3.3 wird ein Zusammenhang zwischen dem Selbstkonzept im Fach und dem Wissen angenommen. In den Hypothesen 3.4.1 und 3.4.2 werden Zusammenhänge zwischen der Interessantheit der Lernumgebung und dem Wissen und Verständnis postuliert.

In dem Hypothesenkomplex H.4 wird ein Zusammenhang zwischen den Interessevariablen und dem Wissen der Schüler erwartet. In H.4.A wird ein Zusammenhang zwischen dem individuellen Interesse und dem Wissen der Schüler postuliert; in H.4.B wird ein entsprechender Zusammenhang mit dem aktualisierten individuellen Interesse angenommen.

III. Material und Methoden

In der vorgelegten Studie wurden die Interessen- und Wissensentwicklungen von Schülern der Sek II, die ein Schülerprojekt in NaT-Working „Meeresforschung“ durchgeführt haben, untersucht. Außerdem wurden Zusammenhänge zwischen Interesse und Wissen geprüft sowie potentielle Einflussvariablen der Lernumgebung darauf.

Zunächst erfolgt die Beschreibung der Stichprobe und die Darlegung der Auswahl der qualitativen und quantitativen Forschungsmethoden. Daran schließt sich die detaillierte Dokumentation der entsprechenden Erhebungs- und Auswertungsmethoden unter Herausarbeitung der Adaptationen an die vorliegende Arbeit an.

Durchgeführt wurde eine Evaluationsstudie mit einem Pre-Post-Test-Design und einem zusätzlichen Messzeitpunkt in der Mitte des Projekts. Die Bildung von Experimental- und Kontrollgruppen entfiel aus mehreren Gründen:

- Für die Analyse der Wirkungen des Projekts waren Einflussvariablen anderer Projekte oder Unterrichtsformen nicht bedeutsam.
- Die Projekte in NaT-Working mit Schülerzahlen zwischen ca. 7 und ca. 20 waren inhaltlich verschieden und wurden nicht mehrfach durchgeführt. Eine Gemeinsamkeit aller NaT-Working Projekte war das Ziel, das Interesse der Schüler an Naturwissenschaften bzw. naturwissenschaftlichen Themen zu fördern. Die verschiedenen NaT-Working Projekte konnten somit untereinander in Bezug auf das entwickelte Interesse der Schüler verglichen werden.
- Die Wissenserhebung stellte eine besondere Herausforderung dar, weil jedes Projekt einen anderen Inhalt bearbeitete. Daraus ergaben sich Einschränkungen bezüglich des Wissenstests. So war ein mehrmaliger Einsatz des Erhebungsinstruments in verschiedenen Projekten nicht möglich. Mithilfe von Concept Maps als Erhebungsinstrumente für Wissen konnte zum einen das aufgebaute Wissen von Schülern grafentheoretisch verglichen werden und zum anderen konnte die Wissensentwicklung im Detail untersucht werden.

Aufgrund der Dauer der Schülerprojekte in NaT-Working „Meeresforschung“ (bis zu einem Jahr) und dem sehr aufwendigen Auswertungsverfahren des Wissenstests sind nur zwei Schülerprojekte in die Hauptstudie aufgenommen worden (s. u.). Diese beiden Projekte wurden hinsichtlich der Interessen- und Wissensausprägungen gegenübergestellt und deskriptiv verglichen.

III.1 Stichprobe

Die Stichprobe der vorliegenden Studie setzte sich zusammen aus einem Biologie-Leistungskurs der Jahrgangsstufe 12 und einem Projektkurs der Jahrgangsstufe 13.

Der Biologie-Leistungskurs der Jahrgangsstufe 12 bestand aus 16 Schülern²⁶, darunter zehn Schülerinnen und sechs Schüler. Die Schülerinnen und Schüler dieses Kurses führten das Projekt „Entstehung einer Algenblüte: Vergleich von Kultur und Natur“ von Januar bis Juni 2005 als Schülerprojekt in NaT-Working „Meeresforschung“ durch. Eine genaue

²⁶ Es sind tatsächlich 17 Schüler. In die Untersuchung werden allerdings nur 16 Schüler aufgenommen, da eine Schülerin erst nach einem Monat in den Kurs kam. Sie wiederholte die 12. Jahrgangsstufe und war im Vorjahr in dem Bio-LK, der die Stichprobe der Vorstudie war.

Beschreibung der Projektstruktur und der durchgeführten Datenerhebungen befindet sich in Kap. III.6.1.

Der Projektkurs der Jahrgangsstufe 13 bestand aus 20 Schülern, darunter dreizehn Schülerinnen und sechs Schüler (eine Person ohne Angabe des Geschlechts). Die Schülerinnen und Schüler dieses Kurses führten das Projekt „Spiel ums Meer“ in dem Schuljahr 2004/ 2005 als Schülerprojekt in NaT-Working „Meeresforschung“ durch. Eine detaillierte Beschreibung der Projektstruktur dieses Kurses und der durchgeführten Datenerhebungen befindet sich in Kap. III.6.2.

III.2 Auswahl der Forschungsmethoden

Für die Untersuchung des Interesses der Schüler und dessen Entwicklung sowie etwaiger Einflussvariablen wurden Fragebögen eingesetzt. Dabei konnte auf Erhebungsinstrumente zurückgegriffen werden, die anhand großer Stichproben getestet und validiert worden waren. Wegen Anpassungen an den neuen Gegenstandsbereich (außerschulischer Lernort) mussten die verwendeten Skalen bezüglich ihrer Gültigkeit erneut getestet werden. Aufgrund der kleinen Stichprobengröße ergaben sich Einschränkungen in den deskriptiven und inferenzstatistischen Auswertungen. Darauf wird bei der Vorstellung der entsprechenden Methoden im Detail Bezug genommen (s. Faktorenanalyse S. 68, Korrelationsanalyse S. 83 und Wilcoxon-Test S. 99). Mit dem Einsatz von Auswertungsmethoden, die für die vorliegende Stichprobengröße zulässig sind, konnte aus den Daten der relativ kleinen Stichprobe (s. Kap. III.1) der vorgelegten Studie, auf die Individuen der Population, also auf die Schüler, die ein NaT-Working Projekt oder ein ähnliches außerschulisches Lernprojekt durchführen, geschlossen werden. Die Untersuchung erfolgte in einem Pre-Post-Test-Design, um eine Interessenentwicklung abbilden zu können. Die entsprechenden Fragebögen finden sich im Anhang (s. Kap. VII.3). Die Prüfung der verwendeten Skalen ist der Skalendokumentation (s. Kap. III.4.1) zu entnehmen. Diese setzt sich zusammen aus der Prüfung ausgewählter Kriterien in der Vor- und der Hauptstudie (s. Kap. III.4.1.2). Zunächst werden die Skalen des Pre-Test-Fragebogens vorgelegt (s. Kap. III.4.1.3) und anschließend die Skalen des Post-Test-Fragebogens (s. Kap. III.4.1.4). In Kap. III.4.2 finden sich die Auswertungsmethoden der erhobenen Fragebogendaten, die in der hier vorgelegten Studie durchgeführt wurden. Zur Beschreibung der Datenverteilung dienten deskriptive Methoden (s. Kap. III.4.2.1). Zur Untersuchung etwaiger wechselseitiger Beziehungen dienten Korrelationsanalysen (s. Kap. III.4.2.2). Die Auswertungen der Korrelationsanalysen erfolgten unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren, die - insbesondere in kleinen Stichproben - einen Einfluss auf die Stärke der Korrelationen haben können. Über diese Zusammenhangsanalysen hinaus sollten Mediatorvariablen aufgedeckt werden, welche die Interessenentwicklung vermitteln. Die in der vorliegenden Studie durchgeführte Prüfung etwaiger Mediatorvariablen wird in Kap. III.4.2.3 vorgestellt.

Die Untersuchung des Wissens erfolgte mit einem Concept Map Test. Der Fokus der Studie lag auf der Untersuchung der Wissensstrukturen der Schüler und deren Verständnis über das Ökosystem Meer bzw. Ostsee. Concept Maps (CM) wurden in der vorgelegten Studie gewählt, weil sie als die besten Erhebungsinstrumente für die Erfassung von

Wissensstrukturen angesehen werden können. Die Bewertung der CM setzte sich aus quantitativen und qualitativen Methoden zusammen. Quantitative Methoden wurden eingesetzt, da im Vorfeld ausgehend von der Expertiseforschung Annahmen bezüglich der Entwicklung des Wissens zugrunde gelegt werden konnten. Diese Wissensentwicklung konnte mit ausgewählten Grafenmaßen (s. Kap. III.4.4.1) abgebildet und verglichen werden. Mit der auf einem Referenznetz basierten Transkription der CM wurde weiterhin ein inhaltlicher Vergleichmaßstab angelegt (s. Kap. III.4.4.3.A), der detailliertere Auswertungen ermöglichte: Über die grafentheoretische Auswertung der transkribierten CM hinaus (s. Kap. III.4.4.3.B) wurde der individuelle Summenscore (IS) ermittelt (s. Kap. III.4.4.3.C). Ausgehend von den explorativen Forschungsfragen darüber, welche konkreten fachlichen Inhalte die Schüler über die Projektzeit gelernt haben und welche Fehlkonzepte sich zeigen, wurde eine umfangreiche qualitative Auswertung der transkribierten CM durchgeführt (s. Kap. III.4.4.3.E und Kap. III.4.4.3.F). Diese qualitative Auswertung hatte das Ziel die Variation in den untersuchten Fällen systematisch aufzubereiten. Hierfür ist die Stichprobengröße von nachrangiger Bedeutung. Relevant ist vielmehr das Ausmaß der Variation in den Daten. Wird eine hohe Variation erreicht, so reichen auch (relativ) kleine Stichprobengrößen aus, um aus den qualitativ generierten Daten Schlussfolgerungen zu ziehen. In der vorliegenden Studie dienten die qualitativen Auswertungen primär zur Ergänzung der quantitativen Auswertungen.

Im Folgenden wird das zugrunde gelegte Forschungsdesign vorgestellt.

III.3 Das Forschungsdesign

Das Interesse der Schüler wurde in einem Pre-Post-Test-Design mittels Fragebögen erhoben. Aufgrund der zu erwartenden kleinen Stichprobengröße wurde weitestgehend auf bereits getestete Skalen zurückgegriffen. Untersucht wurde das Fachinteresse der Schüler an einem naturwissenschaftlichen Schulfach (s. Tabelle 3, Pre-Test, Schulfachinteresse) sowie ihr Interesse an einem naturwissenschaftlichen Beruf (s. Tabelle 3, Pre-Test, Berufsinteresse) und der potenzielle Einfluss des Projekts bzw. der Projektteilnahme auf diese Interessen (s. Tabelle 3, Post-Test, Schulfachinteresse und Berufsinteresse sowie Hypothesen 1.1 und 1.2, S. 50f.). Im Fokus stand die Untersuchung des aktualisierten individuellen Interesses als projektspezifisches und durch das Projekt induziertes epistemisches Interesse an den Projektthemen (s. Tabelle 3, Post-Test, Interesse an Projektthemen), das in einem engen Zusammenhang zum entsprechenden individuellen Interesse an Naturwissenschaften steht, das die Schüler bereits vor dem Projekt haben (s. Tabelle 3, Pre-Test, Interesse an Naturwissenschaften). Es sollten Zusammenhänge zur Interessantheit der Lernumgebung, also des Projekts in NaT-Working „Meeresforschung“, aufgeklärt werden (s. Hypothesen 2.1 und 2.3.1 sowie 2.3.2, S. 52 und 54ff.).

Tabelle 3: Forschungsdesign

Pre-Post-Test-Design mit einem zusätzlichen Messzeitpunkt in der Mitte des Projekts. Erklärungen s. Text.

Pre-Test (MZIP I)	Zwischentest (MZIP II)	Post-Test (MZIP III)
<ul style="list-style-type: none"> - Schulfachinteresse - Berufsinteresse - Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse) - Selbstkonzept im Fach 		<ul style="list-style-type: none"> - Schulfachinteresse - Berufsinteresse - Interesse an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse) - Interessantheit der Lernumgebung: <ul style="list-style-type: none"> - Projektfaktoren - Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen
Vorwissen	Wissen II	Wissen III

Weiterhin wurde der Zusammenhang zwischen dem Interesse und Wissen geprüft (s. Hypothese 4, S. 59). Untersucht wurde das deklarative Wissen, dessen Erhebung in der Mitte des Projekts erfolgte (s. Tabelle 3, Zwischentest, Wissen II). Daraus ergab sich für die Gesamtstudie ein Pre-Post-Test-Design mit einem zusätzlichen Messzeitpunkt in der Mitte

des Projekts. Da es in der Erhebung des deklarativen Wissens primär um das Strukturwissen und Verständnis ging, wurde als Erhebungsmethode ein Concept Map Test eingesetzt.

Als mögliche Mediatorvariable für das Interesse und Wissen sowie deren Zusammenhang untereinander wurde das Selbstkonzept im Fach untersucht (s. Hypothese 3.3, S. 57). Die Erhebung des Selbstkonzepts erfolgte mit einer Skala im Fragebogen des Pre-Tests (s. Tabelle 3, Pre-Test, Selbstkonzept im Fach).

Außerdem wurde in einer Projektgruppe die Wissensentwicklung detailliert analysiert (s. Hypothesen 3.1.1 bis 3.1.3, S. 56). Da für die Wissensentwicklung eine Vorwissensabhängigkeit angenommen wurde, erfolgte eine Erhebung des Vorwissens der Schüler im Pre-Test (s. Tabelle 3, Pre-Test, Vorwissen). Die Anzahl der Messzeitpunkte basierte auf Überlegungen zum Testlängendilemma in der lernprozessbegleitenden Wissensdiagnostik (Leutner, 1992). Unter Voraussetzung einer konstanten Reliabilität eines Tests gilt, je kürzer der Test ist, desto valider ist die Messung. Jedoch gilt unter der Voraussetzung der Invarianz des Wissens, dass die Messung umso reliabler ist, je länger ein Test ist. Es galt also eine ausreichende Anzahl an Messzeitpunkten festzulegen, mit denen die Wissensentwicklung möglichst valide und reliabel abgebildet werden konnte und (hauptsächlich) auf die Projektteilnahme zurückzuführen war. Dabei durften es aber nicht zu viele Messzeitpunkte sein, da mit der Bearbeitung der Aufgaben auch ein Lernprozess unterstützt wird. Das erforderte - unter Berücksichtigung der Vorwissensabhängigkeit - mindestens zwei Messzeitpunkte (im Pre-Test und Post-Test). Ein weiterer Messzeitpunkt in der Mitte des Projekts erhöhte die Genauigkeit der Abbildung der Wissensentwicklung (s. Tabelle 3, Vorwissen, Wissen II und Wissen III).

Eine qualitative Untersuchung der Wissensentwicklung in einer ausgewählten Domäne erfolgte als explorativer Teil der Studie ausgehend von den Forschungsfragen 3.2.1 und 3.2.2 (s. S. 56f.). Ziel war die detaillierte Aufklärung der Wissensentwicklung sowie eine Identifizierung der fachwissenschaftlich falschen Inhalte über das Nahrungsnetz der Ostsee.

III.4 Erhebungs- und Auswertungsmethoden

Im Folgenden werden zunächst die Fragebögen vorgestellt, indem die Kriterien für die Skalendokumentation vorgelegt werden (s. Kap. III.4.1.2) und anschließend die einzelnen Skalen des Pre-Tests (Kap. III.4.1.3) und des Post-Tests (Kap. III.4.1.4). Dann werden die Auswertungsmethoden der Fragebögen vorgestellt (s. Kap. III.4.2).

In Kap. III.4.3 wird die Concept Map Testkonstruktion der Wissenserhebung beschrieben. Das Bewertungsformat dieser Concept Map Testkonstruktion ist sehr umfangreich und wird deshalb in Kap. III.4.4 detailliert dargestellt.

Abschließend wird die Organisation und Durchführung der Erhebungen kurz beschrieben.

III.4.1 Skalendokumentation

Die Schüler wurden jeweils schriftlich mittels Fragebögen vor dem Projekt (Pre-Test) und im Anschluss (Post-Test) um Einschätzungen bzw. Bewertungen gebeten. Die Angaben waren auf einer Skala von 1 - 4 möglich. „1“ bedeutete keine Zustimmung und „4“ volle Zustimmung.

Die Skalendokumentation erfolgt anhand der Daten der Hauptstudie [Biologie-Leistungskurs (N= 16), Projektkurs (N= 20), s. a. Kap. III.1]. Außerdem werden aus der Vorstudie folgende Gütekriterien in Fußnoten angegeben: Cronbachs alpha (α), Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) und die Stichprobengröße (N) (Skalendokumentation der Vorstudie s. Anhang, Kap. VII.4).

III.4.1.1 Prüfung der Skalen in der Vorstudie

Zur Prüfung der in den Fragebögen verwendeten Skalen wurden die Fragebögen bei drei Tagesausfahrten mit dem Umweltverein Hohe Tied (8.-10. September 2004) bei den teilnehmenden Schülern eingesetzt (es handelte sich um Biologie-Leistungskurse).

Der Umweltverein bietet Schulklassen Tagesfahrten mit einem Segelboot auf die Kieler Förde an. Die Schüler lernen hierbei die Ostsee auf wissenschaftliche Weise kennen, indem sie themenorientiert Experimente und Messungen durchführen können. Die Schüler werden wissenschaftlich und pädagogisch von Mitarbeitern des Vereins begleitet, die meist selbst beruflich in der naturwissenschaftlichen Forschung tätig sind. Die Schüler arbeiten in drei Gruppen (Boden, Plankton und Ozeanografie) und tauschen ihre Ergebnisse und Erkenntnisse mittels Vorträgen und gemeinsamer Diskussion am Ende der Tagesfahrt aus.

Der Fragebogen des Pre-Tests wurde in der Schule ein bis drei Tage vor der Ausfahrt von den Schülern ausgefüllt. Der Fragebogen des Post-Tests wurde nach der Abschlussbesprechung an Bord ausgefüllt. Für die Prüfung der Reliabilität und Validität der Fragebögen ergab sich eine Stichprobe von 39 verbundenen Fragebögen (Skalendokumentation s. Anlage, Kap. VII.4). Aus dieser kleinen Stichprobe resultieren Einschränkungen bei den statistischen Auswertungsverfahren, auf die im Einzelnen Bezug genommen wird. Die Fragebögen mussten nicht modifiziert werden und konnten daher in der Hauptstudie eingesetzt werden. Ein Item des Post-Tests wurde entfernt, da nur wenige Schüler dieses Item bearbeitet hatten (< 30% Antworthäufigkeit) (s. Anhang, Kap. VII.3.2.1).

III.4.1.2 Kriterien für die Skalendokumentation

Folgende Kriterien wurden in der Skalendokumentation angelegt, um die Brauchbarkeit der Skalen bzw. Items zu überprüfen. Dokumentiert werden die Skalen selbst und außerdem, die Items, die entfernt werden mussten.

Für die Skalendokumentation wurde zuerst eine Itemanalyse (1) durchgeführt, welche sich aus der Prüfung der Itemschwierigkeit (1.1) und der Trennschärfe (r) (1.2) zusammensetzte. Daran schloss sich die Reliabilitätsprüfung (2) der Skalen an, die über die Bestimmung des Cronbachs alpha (α) erfolgte. Zum Schluss wurde eine Faktorenanalyse (3) durchgeführt, die ausgewählten Kriterien genügen musste [Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium (KMO) (3.1), Eigenwert (3.2) und Faktorladung (3.3)].

Im Folgenden werden die einzelnen Kriterien kurz erklärt.

(1) Itemanalyse

Die Verteilung der Testwerte (und später auch Skalen) wurde dahingehend geprüft, ob sie einer *Normalverteilung* folgen (Kolmogoroff-Smirnov-Test, s. Wirtz und Caspar, 2002), da bestimmte inferenzstatistische Berechnungen von der Datenverteilung abhängen (s. Korrelationsanalysen, S. 83).

(1.1) Itemschwierigkeit

Items besitzen unterschiedliche Zustimmungsraten, die als Itemschwierigkeiten quantifizierbar sind. Sie spielt insbesondere in Wissenstests eine Rolle, in denen Items mit sehr vielen oder sehr wenigen richtigen Antworten entfernt werden sollten. Items mit einem mittleren Schwierigkeitsindex (0,2-0,8) werden im Allgemeinen bevorzugt (Bortz & Döring, 2002; Zöfel, 2002; Rost, 2004a). Ermittelt wird der Index anhand der arithmetischen Mittelwerte der Einzelitems, welche bei einer vierstufigen Antwortskala²⁷ [angelehnt an die Likert-Skala (Likert, 1932)] zwischen 1,6 und 3,4 liegen sollten. Da es sich in der hier vorgelegten Arbeit nicht um Wissensitems handelte, sondern um Interessenitems und Selbsteinschätzungen, wurde die Itemschwierigkeit nicht als Ausschlusskriterium verwendet. Falls die Itemschwierigkeit nicht erfüllt war, wurde das Item als „kritisches Item“ eingestuft. Entfernt wurde ein kritisches Item, wenn ein weiteres Kriterium kritisch war oder das Cronbachs alpha nach Entfernen des Items deutlich stieg.

(1.2) Trennschärfe

Wichtigstes Kriterium zur Beurteilung der Brauchbarkeit eines Items ist der Trennschärfekoeffizient. Er gibt an, wie gut das betreffende Item zwischen verschiedenen Eigenschaftsausprägungen der Probanden trennt. Er gibt eine Rangkorrelation nach Spearman an und zwar zwischen dem Item-Wert selbst und dem Gesamtpunktwert. In der vorliegenden Arbeit wurde der korrigierte Trennschärfekoeffizient berechnet. In den Gesamtpunktwert wurden alle Items aufgenommen, ausgenommen war das betreffende Item selbst (Fisseni, 1990). Je höher die Trennschärfe ist, desto besser lassen sich Personen mit unterschiedlichen Eigenschaftsausprägungen voneinander unterscheiden. Als Gütekriterium wird eine hohe Trennschärfe als ein positives Merkmal des Items gewertet (Rost, 2004a). Die Trennschärfe

²⁷ Likert (1932) entwickelte eine Rating-Skala zur Selbsteinschätzung von 1-5. Hier ist die Mitte (3 Punkte) nicht eindeutig interpretierbar, weshalb in der hier vorgelegten Arbeit eine vierstufige Skala eingesetzt wurde, in der die Probanden eine wertende Position einnehmen müssen.

sollte zwischen 0,2 und 0,8 liegen (Schelten, 1980). Items, die davon abwichen, wurden aus der Skala entfernt.

Die Itemschwierigkeit und die Trennschärfe stehen in Abhängigkeit zueinander. Die Trennschärfe ist für mittlere Schwierigkeitsindices am größten, während sie für niedrige und hohe Schwierigkeitsindices abfällt.

Die Modellgültigkeit eines Tests kann durch abweichende Items oder abweichende Personen in der Datenmatrix eingeschränkt werden (Rost, 2004a). Parallel zum Eliminieren von Items kann man die interne Validität eines Tests durch Ausschluss einzelner Personen verbessern. Von einer Personenselektion wurde in der vorliegenden Studie in Anbetracht der ohnehin niedrigen Zahl an Probanden Abstand genommen.

(2) Reliabilitätsprüfung

Für die Bestimmung der Reliabilität wurde in der Skalendokumentation das Cronbachs alpha (α) verwendet (Cronbach, 1951; Lienert & Raatz, 1994). Cronbachs alpha ist ein Maß für die interne Konsistenz einer Skala. Es gibt an, ob alle Items einer Skala dasselbe Merkmal erfassen. Es berechnet sich aus der Itemstreuung und der Streuung des Gesamtpunktwertes. Eine hohe Itemstreuung wirkt sich zu Lasten des Reliabilitätskoeffizienten und eine hohe Gesamtpunktwertstreuung zu dessen Gunsten aus. In der vorliegenden Arbeit wurden Items in die Skala aufgenommen, wenn das Cronbachs alpha > 0.7 war (Spector, 1992).

Items einer Skala, deren Reliabilität zu prüfen ist, müssen alle gleich gepolt sein, d. h. ihre Bedeutung zeigt in eine Richtung, z. B. „1= keine Zustimmung“ und „4= volle Zustimmung“. In der Skalendokumentation wurde auch das Cronbachs alpha aufgenommen, das sich zeigt, wenn das entsprechende Item entfernt wird (s. Tabelle 4, Spalte 5, a). Falls der Wert deutlich stieg und insbesondere, wenn das Kriterium des Cronbachs alpha ($\alpha > 0.7$) nicht erfüllt war, wurde das Item aus der Skala entfernt.

(3) Faktorenanalyse

In der vorliegenden Studie, die eine relativ kleine Stichprobe beinhaltete, wurden weitestgehend Skalen eingesetzt, die bereits getestet waren (s. Hoffmann et al., 1998). Da diese Skalen an den zugrunde gelegten Forschungsgegenstand anzupassen waren, musste die Gültigkeit der Skalen geprüft werden (s. Vorstudie, Kap. III.4.1.1). Die Durchführung der Faktorenanalyse hatte damit zwei Ziele: Zum Ersten wurde eine Datenreduktion erzielt und zum Zweiten konnte die Beziehungsstruktur zwischen einzelnen Items des Itempools dargestellt werden (Backhaus et al., 2000). Es wurde eine Hauptkomponentenanalyse mit Varimax Rotation durchgeführt. Die Hauptkomponentenmatrix bildet lineare Kombinationen zwischen den Items ab. Die Varimax Rotation erlaubt eine bessere Interpretation der Daten bei gleich bleibender Qualität. Die Faktorenanalyse konnte aufgrund der relativ kleinen Stichprobengröße nicht mit allen Items des Fragebogens gleichzeitig durchgeführt werden. Somit wurde sie mit den aus der Theorie und Empirie entwickelten Skalen separat ausgeführt.

(3.1) Eigenwert

Die Bestimmung der Eigenwerte diente der Interpretation der Faktorenanalyse. Der Eigenwert gibt an, wieviel von der Gesamtstreuung aller Variablen durch diesen Faktor erfasst wird. Der Eigenwert ist umso höher, je höher die Items korrelieren. Es wurden nur solche Faktoren interpretiert, deren Eigenwerte > 1 waren (Bortz & Döring, 2002).

(3.2) Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium (KMO)

Zur Prüfung, ob die Ausgangsdaten für eine Faktorenanalyse geeignet waren, wurde das statistische Prüfkriterium „Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium (KMO)“ angelegt. Das ist eine Maßzahl, die Auskunft darüber gibt, ob das ausgewählte Faktorenmodell geeignet ist, die Items abzubilden. Falls $KMO > 0.5$ war, war die Itemauswahl für die Faktorenanalyse geeignet (Brosius & Brosius, 1995).

(3.3) Faktorladung

Faktorenanalysen liefern Faktorwerte für die jeweiligen Items. Die Faktorladungen haben Wertebereiche von (-) 1 bis (+) 1 und geben an, wie eng der Zusammenhang zwischen dem Faktor und dem Item ist. Für eine generalisierende Interpretation sollte in Anlehnung an Guadagnoli & Velicer (1988) Folgendes gelten:

- Wenn auf jedem bedeutsamen Faktor mindestens vier Variablen Ladungen über 0.6 zeigen, kann die Faktorenstruktur ungeachtet der Stichprobengröße generalisierend interpretiert werden.
- Wenn auf einen Faktor 10 - 12 Variablen Ladungen um 0.4 zeigen, kann die Faktorenstruktur ungeachtet der Stichprobengröße generalisierend interpretiert werden.

Falls Faktorladungen geringer sind muss das Ergebnis repliziert sein. Repliziert ist ein Ergebnis, wenn sich die Faktorladung in der Vorstudie und in der Hauptstudie zeigt. Items, deren Faktorladungen zu gering sind, werden aus der Skala entfernt.

Die Dokumentation der Skalen erfolgt tabellarisch, indem zunächst eine Kurzbeschreibung vorgelegt wird, in der die Messzeitpunkte aufgeführt sind [MZP I (= Pre-Test), MZP II (= Zwischentest) und MZP III (= Post-Test)]. Weiterhin beinhaltet die Kurzbeschreibung die gewählte Skala, von der jeweils die Bedeutungen der Skalenniveaus notiert werden [z. B. vierstufig: trifft zu (4) ... trifft nicht zu (1)]. Dann folgt die Angabe der ursprünglichen Quelle der Skala [z. B. in Anlehnung an Hoffmann et al. (1998): Faktor 1: Informationsinteresse in der Freizeit gegenüber Physik und Technik]. An die Kurzbeschreibung schließt sich die Prüfung der Skala anhand der genannten Kriterien (s. o.) an. Für jede Skala wurde eine Tabelle nach dem in Tabelle 4 vorgestellten Schema angelegt.

Tabelle 4: Skalendokumentation (Schema)

Abkürzungen: M= arithmetischer Mittelwert (oben: des jeweiligen Items, unten: der Skala); SD= Standardabweichung (oben: des jeweiligen Items, unten: der Skala); r= Trennschärfe; a= Cronbachs alpha für den Faktor, wenn das Item entfernt wird; α = Cronbachs alpha; KMO= Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium; N= Stichprobengröße; Items= Anzahl der Items, die in die Skala aufgenommen werden.

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Item 1	M 1	SD 1	r 1	a 1	Faktorladung 1
Item 2	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.
Item 3					
etc.					
Skala:	Eigenwert:	α :	KMO:		
	M:	SD:	N:	Items:	

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass die Daten der Skalendokumentation, da sie auf der Stichprobe der Hauptstudie basieren, bereits Ergebnisse, in Form des Zahlenmaterials, beinhalten. Die eigentliche Darstellung der Ergebnisse und Rückübersetzung in die theoretischen Vorannahmen, erfolgt in den entsprechenden Ergebnis-Teilen.

III.4.1.3 Pre-Test

Vor dem Projektbeginn wurde das individuelle Interesse als unabhängige Variable in Form des „Informationsinteresses in der Freizeit an Naturwissenschaften“ erhoben. Außerdem wurden das Schulfachinteresse und das Berufsinteresse erhoben. Die Items zum „Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften“ gehen zurück auf einen Faktor zum Freizeitinteresse von Hoffmann et al. (1998), dem „Informationsinteresse in der Freizeit gegenüber Physik und Technik“. Das Schulfachinteresse wurde in Anlehnung an das Fachinteresse von Hoffmann et al. (1998) erhoben. Zur Ermittlung des Berufsinteresses wurde danach gefragt, wie gerne ein Beruf, der etwas mit Naturwissenschaften zu tun hat, erlernt würde. Als potenzielle Einflussvariable wurde das „Selbstkonzept im Fach“ ermittelt. Im Folgenden sind die Skalen des Pre-Tests aufgeführt.

Skalendokumentation der Erhebung des

„Informationsinteresses in der Freizeit an Naturwissenschaften“ (Pre-Test)

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP I
- Skala: vierstufig: trifft zu [4] ... trifft nicht zu [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998):
Faktor 1: Informationsinteresse in der Freizeit gegenüber Physik und Technik (s. S. 56).

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Freiz1	3,14	0,80	0,57	0,80	0,74
Freiz2	2,61	0,90	0,66	0,77	0,81
Freiz3 ²⁸	2,58	0,94	--	--	--
Freiz4	2,61	0,90	0,54	0,81	0,68
Freiz5	3,31	0,62	0,68	0,78	0,82
Freiz6	2,81	1,09	0,70	0,76	0,82
Skala ²⁹	Eigenwert = 3,01 α = 0,82 KMO = 0,803 M = 2,89 SD = 0,67 N = 36 Items = 5				

Items:

- Freiz1 - Ich sehe mir gerne Fernsehsendungen an, die mit Naturwissenschaften zu tun haben.
- Freiz2 - Ich lese gerne Bücher, die naturwissenschaftliche Themen behandeln.
- Freiz3 - Ich besuche gerne Museen oder Ausstellungen, die mit Naturwissenschaften zu tun haben.
- Freiz4 - Ich spreche gerne mit Freundinnen oder Freunden über naturwissenschaftliche Themen.
- Freiz5 - Ich lese gerne in Zeitungen Berichte über naturwissenschaftliche Themen.
- Freiz6 - Wenn eine naturwissenschaftliche Frage auftaucht, lese ich gerne in einem Lehrbuch, Nachschlagewerk oder woanders nach.

Skalendokumentation der Erhebung des „Schulfachinteresses“ (Pre-Test)

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP I
- Skala: vierstufig: sehr interessant [4] ... sehr uninteressant [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Fachinteresse (S. 20)

Item:

Pfach – Ich finde das **Fach**^{30*}...

²⁸ Das Item Freiz3 war bereits in der Vorstudie wegen geringer Faktorladung (0,57) ein kritisches Item, in der Hauptstudie ist die Faktorladung deutlich zu gering (0,2). Nach Entfernen des Items Freiz3 stieg das Cronbachs alpha von 0,76 auf 0,81 an. Das Item wurde entfernt.

²⁹ Die Datenverteilung ist nicht normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,075; df: 36; Shapiro-Wilk: Signifikanz: 0,191; df: 36). Die Skalendokumentation der Vorstudie ergab für diese Skala: α = 0,73, KMO = 0,67, N = 39. In der Vorstudie konnte das Item Freiz3 aufgenommen werden, woraus sich ergab: α = 0,74, KMO = 0,71, N = 39, Items = 6.

³⁰ Mit Fach* ist das Fach gemeint, in dem das NaT-Working „Meeresforschung“ Projekt eingebunden ist. Das ist bei dem Bio-LK entsprechend Biologie und bei dem Projektkurs entsprechend das Fach Projektkurs.

Skalendokumentation der Erhebung des „Berufsinteresses“ (Pre-Test)

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP I
- Einzelitem: vierstufig: trifft zu [4] ... trifft nicht zu [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Faktor 4: Interesse an einem naturwissenschaftlich-technischen Beruf (S. 57)

Item:

Beruf - Ich möchte gerne einen naturwissenschaftlichen Beruf erlernen.

Skalendokumentation der Erhebung des „Selbstkonzepts im Fach“ (Pre-Test)

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP I
- Skala: vierstufig: trifft zu [4] ... trifft nicht zu [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Auf das Fach Physik bezogenes Selbstkonzept (S. 65f).

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Selbst1	3,43	0,52	0,50	0,83	0,60
Selbst2	3,18	0,54	0,63	0,81	0,74
Selbst3	3,04	0,64	0,65	0,81	0,78
Selbst4	2,96	0,69	0,64	0,81	0,77
Selbst5	2,79	0,57	0,67	0,81	0,78
Selbst6 ³¹	2,82	0,55	--	--	--
Selbst7	3,46	0,58	0,43	0,84	0,55
Selbst8 ³²	3,39	0,79	--	--	--
Selbst9	2,89	0,74	0,63	0,82	0,72
Selbst10	3,18	0,61	0,44	0,84	0,54
Skala ³³	Eigenwert = 3,83 α = 0,84 KMO = 0,54 M = 3,12 SD = 0,43 N = 28 Items = 8				

Items:

Selbst1 - Ich verstehe den Stoff im Fach ...

Selbst2 - Ich behalte den Stoff im Fach ...

Selbst3 - Meine Leistungen im Fach sind nach meiner eigenen Einschätzung ...

Selbst4 - Ich beteilige mich am Fach-Unterricht ...

Selbst5 - Ich glaube, dass mich meine Mitschülerinnen und Mitschüler im Fach für ... halten.

Selbst6 - Ich glaube, dass mein/e Fach-Lehrer/in meine Leistungen im Fach als ... einschätzt.

Selbst7 - Ich erwarte, dass in Zukunft meine Leistungen im Fach ... sein werden.

Selbst8 - Es hat für mich wenig Sinn, dass ich mich im Fach anstrengte, da ich in diesem Fach doch nicht viel erreichen kann.

Selbst9 - Wenn im Fach eine Aufgabe kompliziert und schwierig wird, macht mir das gerade Spaß, und ich bin gespannt, wie ich die Sache hinkriege.

Selbst10 - Wenn ich eine neue Aufgabe im Fach bearbeiten soll, bin ich sicher, dass ich sie schaffen werde.

³¹ Das Item Selbst6 wurde entfernt, da die Trennschärfe zu hoch war ($r > 0,8$).

³² Das Item Selbst8 wurde entfernt. Dieses Item musste bereits in der Vorstudie entfernt werden. Die Faktorladung war zu gering.

³³ Die Datenverteilung war nicht normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,149; df: 28; Shapiro-Wilk: Signifikanz: 0,303; df: 28). Die Skalendokumentation der Vorstudie ergab für diese Skala: α = 0,85, KMO = 0,82, N = 38.

III.4.1.4 Post-Test

Nach der Durchführung eines Projekts wurde das aktualisierte individuelle Interesse als abhängige Variable in Form des „durch das Projekt induzierten Informationsinteresses in der Freizeit an Projektthemen“ erhoben. Außerdem wurde das Schulfachinteresse an dem Fach, in dem das Projekt eingebunden ist, und das Interesse an einem naturwissenschaftlichen Beruf nach dem Projekt erhoben.

Als potenzielle Einflussvariablen wurden in Anlehnung an die Unterrichtsmerkmale von Hoffmann et al. (1998) Projektfaktoren erhoben, nämlich das Projektklima, die äußere und innere Kohärenz des Projekts, das Projektmanagement und das Eingehen auf Schülerfragen und -wünsche.

Außerdem wurden zur Herausarbeitung von Interesse beeinflussenden Projektfaktoren Interessen an Handlungsmöglichkeiten im Projekt als Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens erhoben. Hierin wurden drei Kategorien angelegt: Das Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (I), das Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (II) und das Interesse an instrumentellen Tätigkeiten (III).

Im Folgenden werden die erhobenen Skalen bzw. Kategorien mit den Items dargestellt.

Skalendokumentation der Erhebung des „durch das Projekt induzierten Informationsinteresses in der Freizeit an Projektthemen“ (Post-Test)

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III
- Skala: vierstufig: trifft zu [4] ... trifft nicht zu [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Das durch den Physikunterricht induzierte Interesse an Physik (S.23 f), ohne Item 5; erweitert um die fehlenden Items des im Pre-Test erhobenen Freizeitinteresses.

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Freiz1n	3,1	0,85	0,70	0,77	0,82
Freiz2n	2,27	0,79	0,48	0,80	0,61
Freiz3n	2,47	0,86	0,53	0,80	0,68
Freiz4n	2,57	0,86	0,37	0,82	0,51
Freiz5n	3,5	0,73	0,64	0,78	0,76
Freiz6n	2,6	0,89	0,47	0,81	0,61
Freiz7n	2,47	1,01	0,73	0,76	0,83
Freiz8n ³⁴	2,9	0,8	--	--	--
Skala ³⁵	Eigenwert = 3,40 α = 0,82 KMO = 0,73 M = 2,71 SD = 0,59 N = 30 Items = 7				

Items:

Freiz1n – Fernsehsendungen über Themen, die ich im Projekt behandelt habe, schaue ich mir an.

Freiz2n – Ich lese Bücher/ werde Bücher lesen, die Themen behandeln, die im Projekt vorkamen.

Freiz3n – Ich habe gerne Museen oder Ausstellungen besucht oder werde es, die mit Themen aus unserem Projekt zu tun haben.

Freiz4n – Mit Freundinnen oder Freunden spreche ich über Themen, die wir im Projekt behandelt haben.

Freiz5n – Wenn ich in der Zeitung etwas über Dinge finde, die ich im Projekt gehört habe, dann lese ich mir das durch.

Freiz6n – Um mehr Informationen über Themen zu bekommen, die ich im Projekt behandelt habe, schlage ich in meiner Freizeit auch mal gerne in Lexika oder anderen Nachschlagewerken nach oder recherchiere dazu im Internet.

Freiz7n – Wenn ich auf dem Flohmarkt ein billiges Buch zu Themen aus dem Projekt finden würde, würde ich es mir kaufen.

Freiz8n – Ich würde mich nicht mit den Projektthemen beschäftigen, wenn ich es nicht müsste³⁶.

³⁴ Das Item Freizn8 wurde entfernt. Die Trennschärfe war zu gering ($r < 0,2$).

³⁵ Die Datenverteilung war nicht normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0.194; df: 30; Shapiro-Wilk: Signifikanz: 0,25; df: 30). Die Skalendokumentation der Vorstudie ergab für diese Skala: α = 0,77, KMO = 0,77, N = 39. In der Vorstudie konnte das Item Freiz8n aufgenommen werden, woraus sich Folgendes ergab: α = 0,78, KMO = 0,73, N = 39, Items = 8.

³⁶ Das Item Freiz8n wurde für Auswertungen umcodiert.

Skalendokumentation der Erhebung des „Schulfachinteresses“ (Post-Test)

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998).

Items:

Schulfn - Hat sich Ihr Interesse an dem Schulfach, in dem das Projekt eingebunden ist, verändert?

Antwortformat: ja, ist geringer geworden/ nein, ist ungefähr gleich geblieben/
ja, ist größer geworden

Wenn ja, geben Sie bitte an, warum Ihr Interesse größer oder kleiner geworden ist.

Antwortformat: offen

schulfn2 - Hat sich Ihr Interesse durch Ihre Projektteilnahme in einem anderen Fach verändert?

Antwortformat: dichotom (Ja/ Nein)

Wenn Ja, in welchem Fach und wie hat sich Ihr Interesse verändert? Antwortformat: offen

Skalendokumentation der Erhebung des „Berufsinteresses“ (Post-Test)

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998).

Item:

Berufn - Durch die Projektteilnahme hat sich mein Berufswunsch geändert.

Antwortformat: dichotom (ja/nein)

Warum Ja, bzw. warum Nein? Antwortformat: offen

Skalendokumentation der Erhebung der Projektfaktoren (Post-Test):

„Projektklima“

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III
- Skala: vierstufig: trifft zu [4] ... trifft nicht zu [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998).
Faktor 1: Interesse stimulierendes Unterrichtsklima (S.81f).

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Klima1	3,1	0,85	0,64	0,83	0,76
Klima2	2,43	0,90	0,72	0,82	0,81
Klima3 ³⁷	2,43	0,77	--	--	--
Klima4	1,93	0,91	0,61	0,83	0,73
Klima5 ³⁸	2,53	1,01	--	--	--
Klima6	2,80	0,76	0,71	0,82	0,81
Klima7	3,43	0,63	0,63	0,84	0,74
Klima8	2,93	0,87	0,50	0,85	0,61
Klima9	3,30	0,75	0,55	0,84	0,68
Skala ³⁹	Eigenwert = 3,79 $\alpha = 0,85$ KMO = 0,75 M = 2,85 SD = 0,59 N = 30 Items = 7				

Items:

Klima1 - Das Projekt war abwechslungsreich.

Klima2 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler ist mir in manchem ein Vorbild.

Klima3 - Ich war neugierig darauf, was wir an unserem nächsten Projekttag lernen.

Klima4 - Ich habe es bedauert/ Ich hätte es bedauert, wenn ein Projekttag ausfiel/ ausgefallen wäre.

Klima5 - In dem Projekt wurde ich angeregt, mich auch in meiner Freizeit mit Naturwissenschaften zu beschäftigen.

Klima6 - Ich habe mich auf die Projektstage gefreut.

Klima7 - Im Projektkurs fühlte ich mich wohl.

Klima8 - Die Schülerinnen und Schüler diskutierten untereinander über projektbezogene Probleme und Sachverhalte.

Klima9 - Im Projektkurs gab es etwas Neues für mich zu entdecken.

³⁷ Das Item Klima3 wurde entfernt, da die Trennschärfe zu hoch war ($r > 0,8$).

³⁸ Das Item Klima5 wurde entfernt, da die Faktorladung zu gering war (Faktorladung = 0,3).

³⁹ Die Datenverteilung der Gesamtstichprobe war normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,2; df: 30; Shapiro-Wilk: Signifikanz: 0,606, df: 30). Die Skalendokumentation der Vorstudie ergab für diese Items: $\alpha = 0,72$, KMO = 0,55, N = 37. In der Vorstudie konnten allerdings alle Items aufgenommen werden, daraus ergab sich Folgendes: $\alpha = 0,78$, KMO = 0,59, N = 35, Items = 9.

„Innere und äußere Kohärenz des Projekts“

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III
- Skala: vierstufig: trifft zu [4] ... trifft nicht zu [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998).
Faktor 2: Innere und äußere Kohärenz des Unterrichts (S.81f) ⁴⁰.

Innere Kohärenz:

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Kohä10	3,11	0,99	0,58	0,87	0,79
Kohä12	3,14	0,89	0,78	0,64	0,92
Kohä13	3,29	0,76	0,70	0,74	0,88
Skala ⁴¹ :	Eigenwert = 2,25 $\alpha = 0,82$ KMO = 0,65 M = 3,24 SD = 0,75 N = 31 Items = 3				

Äußere Kohärenz:

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Kohä11	3,32	0,86	0,37	0,43	0,74
Kohä14	2,32	0,91	0,29	0,55	0,63
Kohä16	2,89	0,92	0,42	0,33	0,79
Skala ⁴² :	Eigenwert = 1,58 $\alpha = 0,55^{43}$ KMO = 0,59 M = 2,86 SD = 0,64 N = 31 Items = 3				

Einzelitem:

Item	M	SD
Kohä15 ⁴⁴	3,04	0,92

Items:

- Kohä10 - Am Anfang des Projekts haben wir eine Übersicht erstellt, über die Themen, die wir im Projekt behandeln werden.
- Kohä11 - Über die persönliche Bedeutung unseres Projektthemas bin ich mir im Klaren (z. B. im Alltag, in der Schule).
- Kohä12 - Am Anfang des Projekts haben wir uns zunächst einen allgemeinen Überblick über die Projektinhalte erarbeitet und uns dann mit Details beschäftigt.
- Kohä13 - An einzelnen Projekttagen haben wir Beziehungen zu dem hergestellt, was wir schon wussten bzw. was wir schon bearbeitet hatten.
- Kohä14 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler gab uns Hinweise darauf, wie wir das, was wir im Projekt lernen, im Alltag anwenden können.
- Kohä15 - Bei den Probennahmen bzw. Experimenten war mir klar, worauf ich achten muss.
- Kohä16 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler ging, wenn wir daran interessiert waren, auf Themen ein, die im Fernsehen oder in der Zeitung behandelt wurden/ werden.

⁴⁰ Die eigene Itemauswahl erfolgte nach inhaltlichen Kriterien und nach den Faktorladungen bei Hoffmann et al. (1998). Nicht aufgenommen wurden die Items 12. und 5. von Hoffmann et al. (1998). Das Item 10 von Hoffmann et al (1998) wurde, trotz mäßiger Ladung auf den Faktor, inhaltlich leicht verändert aufgenommen (In der vorliegenden Studie entspricht das dem Item Kohä15).

⁴¹ Die Datenverteilung war nicht normalverteilt (innere Kohärenz: Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,053; df: 30; Shapiro-Wilk: Signifikanz: 0,003; df: 30). Die Skalendokumentation der Vorstudie ergab für diese Items Folgendes: $\alpha = 0,84$, KMO= 0,70, N= 39.

⁴² Die Datenverteilung war nicht normalverteilt (äußere Kohärenz: Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,007; df: 30; Shapiro-Wilk: Signifikanz: 0,035; df: 30). Die Skalendokumentation der Vorstudie ergab für diese Items (ohne Kohä16): $\alpha = 0,71$, KMO= 0,50, N= 39.

⁴³ Das ist ein kritisches Cronbachs alpha, da $\alpha < 0,7$ ist.

⁴⁴ Das Item Kohä15 musste entfernt werden, da die Trennschärfe zu gering war ($r < 0,2$).

„Projektmanagement“

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III

- Skala: vierstufig: trifft zu [4] ... trifft nicht zu [1]

Anmerkung zur Skalierung: Die Skala ist ursprünglich negativ codiert.
Für die Berechnungen werden die Daten vorher umcodiert.

- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Faktor 3⁴⁵: Schlechtes
Unterrichtsmanagement (S.81f.).

Item	M	SD	r	a	Faktorladung A	Faktorladung B	Faktorladung C
Mana17	2,63	0,85	0,26	0,72	--	--	0,96
Mana18 ⁴⁶	3,57	0,63	--	--	--	--	--
Mana19	3,4	0,86	0,51	0,66	--	0,57	--
Mana20	3,5	0,63	0,46	0,68	0,79	--	--
Mana21	2,87	1,14	0,37	0,71	--	0,85	--
Mana22	3,23	0,80	0,58	0,64	--	--	0,71
Mana23	3,03	1,00	0,42	0,69	--	0,79	--
Mana24	3,33	0,71	0,48	0,67	0,88	--	--
Faktorenstruktur ⁴⁷ : $\alpha = 0,72$ KMO= 0,56 N= 30 Items= 7							
A: Zufriedenheit mit dem Lernmanagement							
$\alpha = 0,71$ M= 3,44 SD= 0,59 Eigenwert = 1,89 Items= 2							
B: Aktive Beteiligung an Experimenten							
$\alpha = 0,66^{48}$ M= 3,1 SD= 0,77 Eigenwert = 1,72 Items= 3							
C: Lerntempo und Verständnis							
$\alpha = 0,74$ M= 2,97 SD= 0,79 Eigenwert = 1,5 Items= 2							

Items:

Mana17 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler verwendete viele Fachbegriffe, die mir nicht vertraut waren.

Mana18 - Im Projekt fand zwischen den Schülerinnen und Schülern ein Wettkampf um bessere Zensuren statt.

Mana19 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler bemühte sich mehr um die besseren als um die schlechteren Schülerinnen und Schüler.

Mana20 - Im Projektkurs war es so unruhig, dass ich mich nicht konzentrieren konnte.

Mana21 - Bei den Probennahmen/ Experimenten konnten nur einige Schüler/innen etwas tun und die anderen mussten zuschauen.

Mana22 - Im Projekt wurden einige Themen so schnell durchgenommen, dass ich Schwierigkeiten hatte, mitzukommen.

Mana23 - Die Probennahmen/ Experimente waren für mich unbefriedigend, da immer alles durcheinander ging.

Mana24 - Wenn es im Projekt gerade interessant wurde, gingen wir schon zum nächsten Thema.

⁴⁵ Ein Item von Hoffmann et al. (1998) wurde nicht aufgenommen: Item 32, „Unser Lehrer bemüht sich mehr um die Jungen als um die Mädchen.“ Die Begründung liegt darin, dass in der vorgelegten Studie kein Beitrag zur Genderforschung angestrebt wurde.

⁴⁶ Das Item Mana18 wurde entfernt, da die Trennschärfe zu gering war ($r < 0,2$).

⁴⁷ Die Skalendokumentation der Vorstudie ergab für diese Items: $\alpha = 0,69$, KMO= 0,55, N= 38. In der Vorstudie konnte das Item Mana17 wegen zu geringer Trennschärfe nicht berücksichtigt werden, daraus ergab sich: $\alpha = 0,72$, KMO= 0,59, N= 38, Items= 6. Auch zeigte sich in der Vorstudie nicht diese Faktorenstruktur.

⁴⁸ Das ist ein kritisches Cronbachs alpha, da $\alpha < 0,7$.

„Eingehen auf Schülerfragen und –wünsche“

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III
- Skala: vierstufig: trifft zu [4] ... trifft nicht zu [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Faktor 4: Eingehen auf Schülerfragen und -wünsche (S.81f).

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Schüle25	3,45	0,69	0,35	0,63	0,72
Schüle26 ⁴⁹	2,93	0,53	--	--	--
Schüle27	3,52	0,63	0,65	0,27	0,89
Schüle28	2,93	0,92	0,37	0,68	0,70
Skala ⁵⁰ : Eigenwert = 1,8 $\alpha = 0,62$ ⁵¹ KMO = 0,52					
M = 3,80 SD = 0,57 N = 29 Items: 3					

Items:

Schüle25 - Wir Schüler/innen hatten im Projekt Gelegenheit uns zu Wort zu melden.

Schüle26 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler stellte im Verlauf der Projektstage viele Fragen.

Schüle27 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler ging bereitwillig auf Fragen von Schülerinnen und Schülern ein.

Schüle28 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler war auch zwischen einzelnen Projekttagen für Fragen erreichbar.

⁴⁹ Das Item Schüle26 wurde entfernt, da das Cronbachs alpha nach Entfernen von 0,31 auf 0,52 anstieg und die Trennschärfe zu gering war ($r < 0,2$).

⁵⁰ Die Skalendokumentation der Vorstudie ergab für diese Items keine Skala.

⁵¹ Das ist ein kritisches Cronbachs alpha, da $\alpha < 0,7$.

Skalendokumentation der Erhebung der Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens (Post-Test):

Das Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweise wird, ausgehend von der Dimension „Tätigkeit“ des Sachinteresses von Hoffmann et al. (1998), mit Items zu drei Tätigkeitsbereichen erhoben. Die Tätigkeitsbereiche sind:

- (T I) Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie,
- (T II) Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten und
- (T III) Interesse an instrumentellen Tätigkeiten.

(T I) „Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie“

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III
- Skala: Mein Interesse am ... ist ...
vierstufiges Antwortformat: sehr groß [4] ... sehr gering [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Dimension „Tätigkeiten“ des Sachinteresses.

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Ti1	2,58	0,72	0,55	0,75	0,72
Ti3	2,97	0,80	0,69	0,71	0,84
Ti5	3,13	0,67	0,47	0,77	0,64
Ti7	3,00	0,73	0,38	0,79	0,52
Ti14	2,90	0,83	0,61	0,73	0,77
Ti16	2,77	0,88	0,52	0,76	0,67
Ti21 ⁵²	2,97	0,88	--	--	--
Ti27 ⁵³	3,39	0,76	--	--	--
Skala ⁵⁴	Eigenwert = 2,94 α = 0,79 KMO = 0,63 M = 2,89 SD = 0,54 N = 31 Items = 6				

Items:

- Ti1- Anhören von Vorträgen
- Ti3 - Erhalten von Erklärungen einer Expertin/ eines Experten von Fachwissen
- Ti5 - selbstständigen Erarbeiten von Fachwissen
- Ti7 - Erarbeiten von Fachwissen im Gespräch mit einer(m) Wissenschaftlerin/ Wissenschaftler
- Ti14 - selbstständigen Beschaffen von Informationen mithilfe von Büchern, Zeitungen, Internet etc.
- Ti16- Erarbeiten von Fachwissen im Gespräch mit meiner Lehrerin/ meinem Lehrer
- Ti21 - Erarbeiten von Fachwissen in einer Arbeitsgruppe
- Ti27 - Anschauen von Bild- oder Filmmaterial

⁵² Das Item Ti21 wurde entfernt, da die Trennschärfe zu gering war ($r < 0,2$).

⁵³ Das Item Ti27 wurde entfernt, da die Trennschärfe zu gering war ($r = 0,2$).

⁵⁴ Die Datenverteilung war normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,200; df: 31; Shapiro-Wilk: Signifikanz: 0,628; df: 31). Die Skalendokumentation der Vorstudie ergab für diese Skala: α = 0,73, KMO = 0,75, N = 38. In der Vorstudie konnte Ti21 aufgenommen werden, daraus ergab sich Folgendes: α = 0,77, KMO = 0,75, N = 38, Items = 7.

(T II) „Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten“

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III

- Skala: Mein Interesse am ... ist ...
vierstufiges Antwortformat: sehr groß [4] ... sehr gering [1]

- Quelle: In Anlehnung an die Dimension „Tätigkeiten“ des
Sachinteresses (Hoffmann et al., 1998) und das kognitive Modell zum
Experimentieren (Klahr, 2000).

Item	M	SD	r	a	Faktorladung A	Faktorladung B	Faktorladung C
Tii4	2,7	0,60	0,60	0,75	0,81	--	--
Tii8	2,67	0,76	0,23	0,79	--	--	0,83
Tii9	2,63	0,85	0,47	0,76	0,83	--	--
Tii10	3,03	0,85	0,52	0,75	--	0,82	--
Tii12 ⁵⁵	2,5	0,86	--	--	--	--	--
Tii15	2,8	0,81	0,35	0,78	--	--	0,80
Tii17	3,33	0,71	0,39	0,77	--	0,79	--
Tii18	3,13	0,73	0,61	0,74	--	0,81	--
Tii19	3,07	0,74	0,58	0,74	0,78	--	--
Tii20 ⁵⁶	1,83	0,79	--	--	--	--	--
Tii23	2,77	0,68	0,51	0,75	0,64	--	--
Tii25 ⁵⁷	2,2	0,81	--	--	--	--	--
Faktorenstruktur ⁵⁸ : $\alpha = 0,78$ KMO = 0,63 N= 30 Items= 9							
A: Hypothesenbildung und -prüfung ⁵⁹ : $\alpha = 0,84$ M= 2,77, SD= 0,57, Eigenwert = 2,54, Items = 4							
B: Planen und Optimieren von Experimenten ⁶⁰ : $\alpha = 0,85$ M= 3,13, SD= 0,67, Eigenwert = 2,23, Items = 3							
C: Datenanalyse ⁶¹ : $\alpha = 0,80$ M= 2,73, SD= 0,67, Eigenwert = 1,67, Items = 2							

Items:

Tii4 - Formulieren neu aufgeworfener Fragen

Tii8 - Analysieren wissenschaftlicher Daten

Tii9 - Überlegen von Forschungsfragen (Hypothesen)

Tii10 - selbstständigen Planen eines Experiments, mit dem eine Forschungsfrage überprüft werden kann

Tii12 - Beschreiben von Forschungsergebnissen

Tii15 - Auswerten experimentell gewonnener Daten

Tii17 - Umsetzen eigener Ideen in Experimenten

Tii18 - Nachdenken darüber, wie ein Experiment besser funktionieren/ optimiert werden könnte

Tii19 - kritischen Diskutieren über experimentell gewonnene Ergebnisse

Tii20 - Verfassen eines wissenschaftlichen Aufsatzes/ Berichtes

Tii23 - Deuten von Forschungsergebnissen

Tii25 - Beschreiben eines Ablaufs und/ oder Aufbaus eines Experiments

⁵⁵ Das Item Tii12 wurde entfernt, da die Trennschärfe zu gering war ($r < 0,2$).

⁵⁶ Das Item Tii20 wurde entfernt, da das Item auf einen eigenen Faktor lud. Als Einzelitem wurde es aus der Faktorenanalyse heraus genommen.

⁵⁷ Das Item Tii25 wurde entfernt, da die Trennschärfe zu gering war ($r < 0,2$).

⁵⁸ Die Skalendokumentation der Vorstudie ergab für diese Skala: $\alpha = 0,81$, KMO= 0,66, N= 37.

⁵⁹ Die Datenverteilung war normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,200; df: 31; Shapiro-Wilk: Signifikanz: $p = 0,468$; df: 31).

⁶⁰ Die Datenverteilung war nicht normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,19; df: 31; Shapiro-Wilk: Signifikanz: $p = 0,049$; df: 31).

⁶¹ Die Datenverteilung ist nicht normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,003; df: 30 (Shapiro-Wilk: Signifikanz: $p = 0,009$; df: 30)).

(T III) „Interesse an instrumentellen Tätigkeiten“

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III

- Skala: Mein Interesse am ... ist ...
vierstufiges Antwortformat: sehr groß [4] ... sehr gering [1]

- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Dimension „Tätigkeiten“ des Sachinteresses.

Item	M	SD	r	a	Faktorladung A	Faktorladung B
Tiii2	2,87	0,89	0,46	0,71	0,82	--
Tiii6	2,84	0,90	0,58	0,66	--	0,80
Tiii11	3,16	0,82	0,60	0,65	0,81	--
Tiii13 ⁶²	3,19	0,91	--	--	--	--
Tiii22	2,77	0,89	0,33	0,76	--	0,92
Tiii24	3,29	0,69	0,59	0,67	0,87	--
Tiii26 ⁶³	3,07	0,96	--	--	--	--
Faktorenstruktur ⁶⁴ : $\alpha = 0,74$ KMO= 0,66 N= 31 Items = 5						
A: Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten ⁶⁵						
$\alpha = 0,75$ M= 3,12 SD= 0,67 Eigenwert = 2,19 Items = 3						
B: Erstellen und Präsentieren von Modellen ⁶⁶						
$\alpha = 0,71$ M= 2,81 SD= 0,83 Eigenwert = 1,58 Items = 2						

Items:

Tiii2 - Aufbau einer experimentellen Apparatur bzw. eines Messinstruments

Tiii6 - Herstellen von Modellen, Ausstellungsmaterialien etc.

Tiii11 - Arbeiten mit Laborgeräten

Tiii13 - Probennehmen im Freiland (am Wasser)

Tiii22 - Präsentieren von Experimenten bei Ausstellungen

Tiii24 - Durchführen naturwissenschaftlicher Experimente

Tiii26 - Arbeiten mit Laptops/ Computern

⁶² Das Item Tiii13 wurde entfernt, da die Trennschärfe zu gering war ($r < 0,2$).

⁶³ Das Item Tiii26 wurde entfernt, da die Trennschärfe zu gering war ($r < 0,2$).

⁶⁴ Die Skalendokumentation der Vorstudie ergab eine etwas andere Itemauswahl und resultierende Faktorenstruktur. Die Reliabilitätsprüfung ergab für die Items Tiii: 2,11,13,22,24 und 26: $\alpha = 0,65$, KMO= 0,66, N= 38. Die Faktorenanalyse bestätigte nur den 1. Faktor.

⁶⁵ Die Datenverteilung war nicht normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,089; df: 31; Shapiro-Wilk: Signifikanz: $p = 0,036$; df: 31).

⁶⁶ Die Datenverteilung war nicht normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,00; df: 31; Shapiro-Wilk: Signifikanz: $p = 0,019$; df: 31).

III.4.2 Auswertung der erhobenen Fragebogendaten

III.4.2.1 Deskriptive Statistik

Ziel der deskriptiven Analyse des Datenmaterials war es, die Verteilung der Daten zu erfassen. Dazu wurden in der vorliegenden Studie die arithmetischen Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) sowie die Minima (Min) und Maxima (Max) bestimmt. Im Falle einer relativ hohen Standardabweichung war die Abbildung der Daten als Box-und-Whisker-Plot (Box-Plot) besser, da diese Darstellung genauere Informationen liefert. Bestimmt wurden dann der Median und der Interquartilabstand. Der Interquartilabstand ist die Differenz zwischen dem 75%- und 25% Quartil (die Box aus dem Box-und-Whisker Plot). Darin liegt die Hälfte der beobachteten Werte (Brosius & Brosius, 1995; Zöfel, 2002). Extremwerte werden als (*) angegeben und Ausreißer als (°). Ausreißer sind Fälle mit Werten, die zwischen 1,5 und 3 Boxlängen vom oberen oder unteren Rand der Box entfernt sind. Dabei entspricht die Boxlänge dem interquartilen Bereich. Extremwerte sind Fälle mit Werten, die mehr als 3 Boxlängen von der oberen oder unteren Kante der Box liegen.

III.4.2.2 Korrelationsanalyse

Korrelationsanalysen dienen der Aufklärung von Zusammenhängen zwischen zwei Variablen, im Falle einer bivariaten Korrelation dienen sie der Aufklärung wechselseitiger Beziehungen (Bortz, 1999). Die Wahl der eingesetzten Korrelationskoeffizienten ist bestimmt durch das Skalenniveau der Variablen und die Verteilung der Testwerte (es ist zu prüfen, ob die Daten einer Normalverteilung folgen oder nicht). In der vorliegenden Studie bezogen sich die Zusammenhangshypothesen auf intervallskalierte Variablen. Daraus ergab sich für Daten, die einer Normalverteilung folgten, die Bestimmung des Pearson-Korrelationskoeffizienten⁶⁷. Für Datensätze, in denen mindestens einer keiner Normalverteilung folgte, ergab sich die Ermittlung des Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten (Spearman rho) (Wirtz & Caspar, 2002).

Wenn auch die Zulässigkeit von Korrelationsanalysen nicht von der Stichprobengröße bestimmt ist, so kann die Stärke der Korrelation (r), insbesondere in kleinen Stichproben, von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden und zu Fehlinterpretationen der Daten führen. In Anlehnung an Goodwin und Leech (2006) wurden in der vorliegenden Arbeit sechs Faktoren berücksichtigt, die sich auf den Wert des Korrelationskoeffizienten⁶⁸ auswirken und zu Fehlinterpretationen führen können: Die Variabilität der Datensätze (1), die Form der Datenverteilung (2), das Ausbleiben eines linearen Zusammenhangs (3), das Vorkommen von Extremwerten (4), die Eigenschaften der Stichprobe (5) und Messfehler (6). Darin zeigt sich z. B., dass die Variabilität der Datensätze (1) einen entscheidenden Einfluss auf die Stärke der Korrelation (r) hat (s. a. Bortz, 1999). So ist r umso größer, je größer die Variabilität der Datensätze ist. Ein kleiner Wert für r muss also nicht zwingend bedeuten, dass der Zusammenhang gering ist, wenn der Wert auf eine geringe Variabilität zurückzuführen ist.

⁶⁷ Die Pearson-Korrelation wird auch Produkt-Moment-Korrelation genannt (Bortz, 1999).

⁶⁸ Goodwin und Leech (2006) untersuchten den Pearson-Korrelationskoeffizienten mit 5 Variablen (6-stufige Intervallskala) an einem hypothetischen Datensatz von N= 30.

III.4.2.3 Testen von Mediatorvariablen

Ein Ziel der vorliegenden Studie war es potenzielle Erklärungsvariablen bzw. Einflussvariablen für die Ausprägung der abhängigen Variable (aktualisiertes individuelles Interesse, welches als durch das Projekt induziertes Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen erhoben wurde, s. Kap. III.4.1.4, Skalendokumentation, Post-Test) aufzuklären. Aus der Theorie abgeleitet wurde ein Zusammenhang zwischen dem individuellen Interesse (Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften, s. Kap. III.4.1.3, Skalendokumentation, Pre-Test) und dem aktualisierten individuellen Interesse angenommen (s. a. Hypothese 2.1, S. 52). Weiterhin galt es zu prüfen, ob Faktoren der Interessantheit der Lernumgebung diesen Zusammenhang mediiieren (s. Abb. 12).

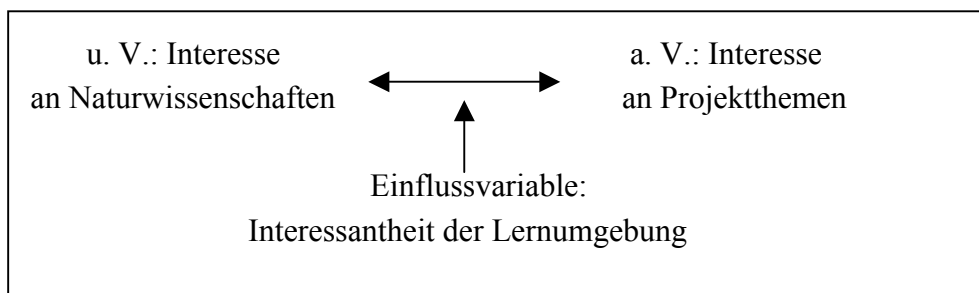


Abb. 12: Hypothetischer Zusammenhang zwischen dem Interesse an Naturwissenschaften und dem Interesse an Projektthemen sowie etwaiger Einflussvariablen

Variablen: u. V.: unabhängige Variable; Interesse an Naturwissenschaften: Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften (individuelles Interesse, erhoben im Pre-Test); a. V.: abhängige Variable; Interesse an Projektthemen: durch das Projekt induziertes Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse, erhoben im Post-Test); Interessantheit der Lernumgebung: Projektfaktoren und Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens (erhoben im Post-Test).

Der ursprüngliche Einfluss der unabhängigen Variable (u. V.) auf die abhängige Variable (a. V.) bzw. deren Zusammenhang wird über so genannte Mediatorvariablen vermittelt. So würde die Interessantheit der Lernumgebung den Zusammenhang zwischen dem Interesse an Naturwissenschaften und dem Interesse an Projektthemen, wenn sie eine Mediatorvariable ist, vermitteln. Eine Mediatorvariable sagt damit etwas über die untersuchte Personengruppe aus. Sie verändert sozusagen die unabhängige Variable insofern, als diese im Zusammenhang mit der abhängigen Variable steht. Dieser Zusammenhang ist allerdings nur mit den Ausprägungen der Mediatorvariable gegeben.

Die Prüfung, ob die angenommenen Einflussvariablen einen Einfluss auf den Zusammenhang zwischen der unabhängigen und abhängigen Variable haben und ob es sich ferner um eine Mediatorvariable handelt, wurde in Anlehnung an Baron und Kenny (1986) folgendermaßen durchgeführt:

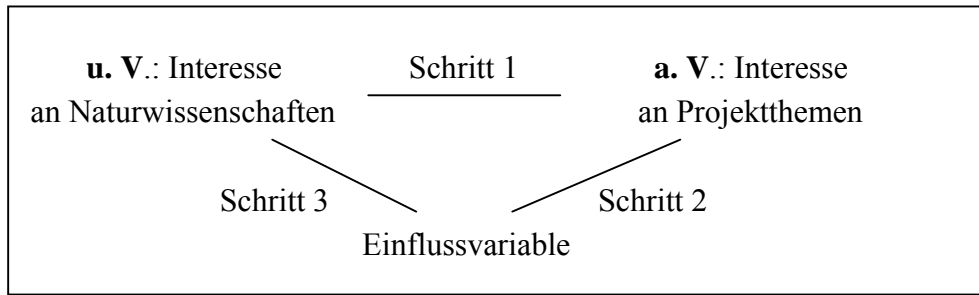


Abb. 13: Prüfung von Mediatorvariablen für den Zusammenhang zwischen dem Interesse an Naturwissenschaften und dem Interesse an Projektthemen

Variablen: Interesse an Naturwissenschaften: individuelles Interesse; Interesse an Projektthemen: aktualisiertes individuelles Interesse; Einflussvariable: Interessantheit der Lernumgebung. Abkürzungen: u. V., unabhängige Variable; a. V., abhängige Variable.

Schritt 1: Korrelationsanalyse zwischen der unabhängigen und abhängigen Variable.

→ Falls sich keine signifikante Korrelation zeigte, wurde die Untersuchung hier beendet.

→ Falls es einen signifikanten Zusammenhang gab, ging die Analyse weiter mit Schritt 2.

Schritt 2: Korrelationsanalyse zwischen der Einflussvariable und der abhängigen Variable.

→ Falls sich keine signifikante Korrelation zeigte, wurde die Untersuchung beendet.

→ Falls es einen signifikanten Zusammenhang gab, folgte Schritt 3.

Schritt 3: Korrelationsanalyse zwischen der Einflussvariable und der unabhängigen Variable.

→ Falls sich keine signifikante Korrelation zeigte, handelte es sich um eine Prädiktorvariable für die abhängige Variable⁶⁹.

→ Falls sich eine signifikante Korrelation zeigte wurde geprüft, ob es sich um eine Mediatorvariable handelte:

Hierzu wurden drei Regressionsanalysen zwischen folgenden Variablen durchgeführt:

1. Einflussvariable und unabhängige Variable,
2. abhängige Variable und unabhängige Variable,
3. abhängige Variable und unabhängige Variable zusammen mit der Einflussvariable.

War in der dritten Regressionsanalyse der Einfluss der unabhängigen Variable auf die abhängige Variable geringer als in der zweiten Regressionsanalyse, so konnte davon ausgegangen werden, dass die Einflussvariable eine Mediatorvariable für den Zusammenhang zwischen der unabhängigen und abhängigen Variable ist. Die Prüfung, ob es sich tatsächlich um eine Mediatorvariable handelt, wurde mit der Berechnung der Formel möglich, die Sobel entwickelt hat (Sobel, 1982; Baron & Kenny, 1986). Mit diesem Sobel Test kann der indirekte Effekt der unabhängigen Variable auf die abhängige Variable, der über die Mediatorvariable vermittelt wird, analysiert und gezeigt werden.

⁶⁹ Es kann sich auch um eine Moderatorvariable handeln. Die Art der Moderation kann, je nach Skalenniveau der Variablen untersucht werden (Details s. Baron und Kenny, 1986, S. 1174-1176).

III.4.3 Concept Map Testkonstruktion

Wie in Kap. II.2.2.2 zusammengefasst dargestellt, sollte eine Concept Map Testkonstruktion (CM-Testkonstruktion) eine Aufgabe beinhalten, deren Ergebnis die Wissensstruktur des Bearbeiters in einem Wissensbereich liefert und zusätzlich ein Format für die Aufgabe, sowie ein Bewertungssystem bereitstellen, mit deren Hilfe eine genaue und konsistente Bewertung möglich ist (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996).

III.4.3.1 Validierung der Concept Map Testkonstruktion (Vorstudie)

In der zweiten Klausur des Biologie-Leistungskurses (des Schuljahres 2003/ 2004) wurde im Rahmen der Vorstudie eine Aufgabe zur Erhebung des Wissens und Verständnisses über das Nahrungsnetz in der Ostsee eingesetzt. Die Schüler wurden darin zur Erstellung eines CM aufgefordert (Aufgabe s. Kap. III.4.3.2). Es lagen 13 CM aus der Abschlussklausur vor. Ziel war die Validierung dieser CM-Testkonstruktion als Erhebungsinstrument für Wissen und Verständnis. Eine Auswahl grafentheoretischer Maße wurde daraufhin geprüft, ob sie bezüglich verschiedener Expertisegrade trennscharf sind. Ausgehend von den Untersuchungen dieser Vorstudie wurden solche trennscharfen Grafenmaße für die Hauptstudie ausgewählt (KNO, KAN und KPX, s. Tabelle 5, S. 89). Außerdem wurden die folgenden beiden Konsequenzen für die Hauptstudie berücksichtigt:

1. In den CM der Schüler fanden sich zu viele unbeschriftete Pfeile, die streng genommen nicht in die Bewertung der CM aufgenommen werden können, da nur beschriftete Pfeile zwischen zwei Knoten (Begriffen) zusammen mit den Begriffen als Kanten (Relationen) bewertet werden dürfen. Die Schüler wurden deshalb in der Hauptstudie intensiv in die Methode des Concept Mappings eingeführt, mit einer Übungsphase und der Möglichkeit Fragen zu klären.

2. Über die grafentheoretische Auswertung hinaus wurde in der Vorstudie eine qualitative Auswertung durchgeführt. Hierin wurden drei Fachkonzepte als Kategorien für die Abbildung des Wissens herangezogen: K1, Netto-Brutto-Produktion; K2, Limitation; K3, Saisonalität. Es zeigte sich, dass sich die beiden Methoden, also die quantitative und qualitative Auswertung der CM, sehr gut ergänzen, da sie verschiedene Aspekte des deklarativen Wissens erfassen. Das grafentheoretische Verfahren ermöglicht die Abbildung der bzw. Einblicke in die mentalen Repräsentationen des deklarativen Wissens. Es bildet diese mit Strukturparametern ab (den Grafenmaßen). Das qualitative Auswertungsverfahren ermöglicht mit der Zuordnung der Kanten (Relationen) in die fachwissenschaftlichen Kategorien Einblicke in das domänen-spezifische Wissen selbst, insbesondere in Vernetzungen des Wissens.

Das Kategoriensystem der Vorstudie erwies sich allerdings für die Hauptstudie nur bedingt geeignet. Es orientierte sich an den fachwissenschaftlichen Zielsetzungen des Schülerprojekts. Darin zeigte sich allerdings eine Dominanz an Kanten zu einem Konzept (K1: Netto-Brutto-Produktion) und kaum Kanten zu den beiden anderen Fachkonzepten. Daraus resultierten Einschränkungen bezüglich der Erfassung und Darstellung einer Variation in den Daten. In der Hauptstudie wurde deshalb ein Kategoriensystem zugrunde gelegt, das sich an diesem fachwissenschaftlichen Konzept (K1) orientiert und mithilfe von Unterkategorien eine detaillierte Untersuchung des Wissens ermöglicht.

III.4.3.2 Aufgaben- und Antwortformat

Die Schüler wurden in einer Aufgabe zur Konstruktion eines CM aufgefordert:

„Stellen Sie bitte Ihr Wissen zum Thema „Ökosystem Ostsee“⁷⁰ durch Konstruktion eines Begriffsnetzes (Concept Maps) dar.“

Den Schülern wurden 14 Begriffe (Knoten) angeboten, die sie verwenden konnten, aber nicht mussten.

Biologie-Leistungskurs:

Bakterien, CO₂, Epipelagial, Fische, Licht, Mesopelagial, NH₄⁺, NO₃⁻, O₂, organ. N-Verbindungen, Phytoplankton, Pyknokline, Sediment, Zooplankton.

Projektkurs:

CO₂, Bakterien, Fische, Kohlenstoffpumpe, Licht, *marine snow*, Methan, Miesmuscheln, Nährsalze, O₂, Phytoplankton, Sediment, Sprungschicht, Zooplankton.

Die Begriffe (Knoten) waren auf selbstklebende Kärtchen gedruckt, die den Schülern in einem Briefumschlag ausgehändigt wurden. Das CM war auf einem DIN A3-Blatt zu erstellen, auf dem eine räumliche Orientierung zwischen Atmosphäre und Wasserkörper vorgegeben war.

Die Schüler wurden explizit darauf hingewiesen, dass sie die Begriffe verwenden können, jedoch nicht müssen und dass Sie auch eigene Begriffe aufnehmen können. Außerdem wurde darauf hingewiesen, dass die Schüler Begriffe auch mehrfach einsetzen können. Für Hinzufügungen von Begriffen fanden die Schüler leere selbstklebende Kärtchen in einem Umschlag.

Außer der räumlichen Orientierung wurde den Schülern keine Vorgabe bezüglich einer CM-Struktur gemacht, d. h. die Schüler wurden zum so genannten *freien Mappen* aufgefordert. Die Schüler hatten für die Erstellung ihres CM max. 40 Minuten Zeit. Für das Ziehen und Beschriften der Pfeile wurde den Schülern ein Bleistift zur Verfügung gestellt.

III.4.3.3 Bewertungsformat

Das Bewertungsformat setzte sich aus Bewertungen zusammen, die kein Referenznetz beinhalteten und Bewertungen, die mithilfe eines Referenznetzes möglich wurden. Das umfangreiche Auswertungsverfahren wird in Kap. III.4.4 detailliert vorgestellt. Vorher wird kurz die durchgeführte Einführung in die CM-Methode und die Durchführung der Datenerhebung beschrieben.

⁷⁰ In der Aufgabe des Projektkurses stand anstatt „Ostsee“ „Meer“, weil sich ihre Projektarbeit inhaltlich nicht nur auf die Ostsee bezog.

III.4.3.4 Einführung in die Methode des Concept Mappings

Die Schüler erhielten eine Einführung in die Methode des Concept Mappings. Hierzu wurde den Schülern die Methode zunächst vorgestellt (Power Point Präsentation). Anschließend erhielten die Schüler ein Papier, auf dem neben der Zielsetzung der Studie, die wesentlichen Punkte zusammengestellt waren (s. Anlage, Kap. VII.5). Es folgte eine Übungsphase, in der die Schüler zu einem selbst gewählten Inhalt ein CM erstellen konnten. Insgesamt umfasste diese Einführung ca. 45 Minuten.

III.4.4 Auswertung der erhobenen Concept Map Daten

Die Auswertung der CM erfolgte grafentheoretisch, ausgehend von den CM der Schüler, also den Originalen, ohne Referenznetz (s. Kap. III.4.4.1). Darüber hinaus wurde zur detaillierten Untersuchung der Wissensentwicklung bei den Schülern des Biologie-Leistungskurses eine Auswertung angeschlossen, die mithilfe eines Referenznetzes erfolgte (s. Kap. III.4.4.3). Beide Auswertungsverfahren werden im Folgenden vorgestellt.

III.4.4.1 Grafentheoretische Auswertung

Die grafentheoretische Auswertung geht zurück auf Bewertungsmaße von Novak und Gowin (1984), Bonato (1990) sowie Friege und Lind (2000). Auf der Grundlage der Vorstudie wurden „starke“ Maße für den Einsatz in der Hauptstudie ausgewählt (s. a. Kap. III.4.3.1). Starke Maße sind solche, die trennscharf zwischen Novizen und Experten unterscheiden⁷¹. Es wurden folgende Grafenmaße ausgewählt: Knoten (KNO)_{gesamt & selbst}, Kanten (KAN), mit der Unterscheidung von fachwissenschaftlich richtigen⁷² Kanten (KAN R) und fachwissenschaftlich falschen Kanten (KAN F), sowie die Komplexität mit den zwei Komplexitätsindices (KPX 1 und KPX 3).

⁷¹ Diese Unterscheidung erfolgt nicht im Sinne des Experten-Novizen-Paradigmas, sondern als Unterscheidung zwischen mehr oder weniger leistungsstarken Schülern.

⁷² Es sei darauf hingewiesen, dass unter fachwissenschaftlich richtige Kanten solche Kanten gefasst sind, die fachwissenschaftlich akzeptiert sind. Dementsprechend sind fachwissenschaftlich falsche Kanten solche, die fachwissenschaftlich nicht akzeptiert sind.

Tabelle 5: Grafenmaße und Erläuterungen

KNO und KAN wurden von Novak & Gowin (1984) und Bonato (1990) übernommen. KNO_{selbst} und KNO_{gegeben} wurden Aufgaben spezifisch selbst ergänzt. KPX 1 wurde von Friege und Lind (2000) übernommen und KPX 3 wurde selbst entwickelt.

Grafenmaße	Erläuterung
Anzahl der Knoten $[KNO]_{\text{gesamt}}$	Mächtigkeit der Knotenmenge K
Anzahl der vorgegebenen Knoten $[KNO]_{\text{gegeben}}$	Anzahl der Knoten (Begriffe), die in der Aufgabe vorgegeben sind und vom Schüler verwendet wurden.
Anzahl der selbstgenannten Knoten $[KNO]_{\text{selbst}}$	Anzahl der Knoten (Begriffe), die vom Schüler selbstständig ergänzt wurden.
Anzahl der Kanten (Relationen) $[KAN]_{\text{gesamt}}$	Mächtigkeit der Relationsmenge L
Anzahl der fachwissenschaftlich richtigen Kanten $[KAN R]$	Anzahl der Relationen, die von dem Schüler fachwissenschaftlich richtig dargestellt sind.
Anzahl der fachwissenschaftlich falschen Kanten $[KAN F]$	Anzahl der Relationen, die von dem Schüler fachwissenschaftlich falsch dargestellt sind.
Komplexität $[KPX 1]$	Die Komplexität (1) ist definiert als der Quotient der Variablen KAN_{gesamt} und KNO_{gesamt} und ist ein Index für die Dichte des Grafen.
Komplexität $[KPX 3]$	Die Komplexität (3) ist definiert als der Quotient der Variablen $KAN R$ und KNO_{gesamt} und ist ein Index für die Dichte des Grafen. KPX 3 ist qualitativ höherwertig als KPX 1, da nur die fachwissenschaftlich richtigen Kanten einbezogen werden.

Im Folgenden sind Besonderheiten hinsichtlich der Bestimmung der Grafenmaße in der vorgelegten Untersuchung kurz dargestellt.

Knoten (KNO)

Zur Bestimmung der Knoten (KNO, Begriffe) wurden alle Knoten des CM gezählt. Mehrfachnennungen wurden nur dann berücksichtigt, wenn der Begriff in einen separaten, also eigenen Bedeutungszusammenhang gestellt war. Wenn der Proband einen Begriff mehrfach aufgenommen hat, z. B. aus Platzgründen, so wurde der Begriff nur einmal gezählt.

Ein Beispiel dafür, dass mehrfach genannte Knoten (Begriffe) auch mehrfach gezählt wurden, ist:

O_2 diffundiert aus der Atmosphäre in den Wasserkörper und umgekehrt.

Erläuterung: Im CM wurde O_2 zweimal aufgenommen und auch zweimal gezählt, da zum einen O_2 aus der Atmosphäre gemeint war und zum anderen O_2 aus dem Wasser.

Ein Beispiel dafür, dass mehrfach genannte Knoten (Begriffe) nur einmal gezählt wurden, ist: Phytoplankton bildet O_2 und O_2 wird von Zooplankton aufgenommen.

Erläuterung: O_2 kam aus Platzgründen im CM mehrfach vor, hier wurde es nur einmal in die Zählung aufgenommen.

Kanten (KAN)

Zwei Knoten (Begriffe), die durch einen beschrifteten Pfeil verbunden waren, wurden als Kante (KAN, Relation) bezeichnet. KAN war dann die Anzahl an Kanten im CM des Schülers. Jede Kante wurde zu einem Satz ausformuliert. Etwaige Hinzufügungen zur Formulierung eines Satzes wurden in eckige Klammern gesetzt: [Hinzufügungen in eckige Klammern].

Es wurde unterschieden zwischen fachwissenschaftlich richtigen Kanten (KAN R) und fachwissenschaftlich falschen Kanten (KAN F).

Komplexität (KPX 1 und KPX 3)

KPX 1 (Komplexitätsindex 1) ist der Quotient aus der Anzahl an Kanten und der Anzahl an Knoten:

$$KPX\ 1 = KAN / KNO$$

KPX 3 (Komplexitätsindex 3) ist der Quotient aus der Anzahl an fachwissenschaftlich richtigen Kanten und der Anzahl an Knoten:

$$KPX\ 3 = KAN\ R / KNO$$

III.4.4.2 Interraterreliabilität

Die Bestimmung der Grafenmaße wurde vollständig von zwei unabhängigen Ratern (Bewertern) durchgeführt. Als Gütekriterium wurde die Interraterreliabilität bestimmt. Das erfolgte in Form der Spearman Rangkorrelation (s. S. 83). Angestrebt wurde eine möglichst hohe Übereinstimmung, d. h. Korrelationen zwischen $r = 0.9$ und $r = 1.0$.

III.4.4.3 Auswertung mit Referenznetz

Über die Bewertung der CM ohne Referenznetz hinaus wurde eine Referenznetz basierte Auswertung durchgeführt, die sich aus einem „Methodenmix“ zusammensetzte. Hierfür wurden die CM der Schüler mithilfe eines Referenznetzes Regel geleitet transkribiert (s. Kap. III.4.4.3.A). Der „Methodenmix“ setzte sich zusammen aus einer grafentheoretischen Auswertung (1), der Ermittlung des individuellen Summenscores (2) und der Ermittlung der von den Schülern erfassten fachlichen Inhalte (3a) und der von den Schülern fachwissenschaftlich falsch dargestellten Inhalte in Form der falschen Kanten (3b). Im Folgenden wird zunächst das zugrunde gelegte Referenznetz vorgestellt und die Regel geleitete Transkription. Daran schließt sich die detaillierte Vorstellung der Auswertungsmethoden des Methodenmixes an.

Referenznetz

Das Referenznetz enthält ausgewählte fachliche Inhalte, die in Bezug auf die marine Lebensgemeinschaft und deren Nahrungsbeziehungen relevant sind (s. Kap. II.4.1). Das Referenznetz erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Das Referenznetz wurde mit der Mannheimer Netzwerk Elaborations Technik MaNET Version 1.5.0, also Software unterstützt erstellt. Zur Erstellung der CM wurden die Knoten (KNO) und Beschriftungen (Propositionen) eingegeben. In den CM finden sich als Beschriftungen so genannte Synonyme in Form von Nummern an den Pfeilen. Im Folgenden ist zunächst eine Tabelle (Tabelle 6) vorgelegt, in der diese Beschriftungen unter Angabe der Synonyme aufgelistet sind.

Tabelle 6: Synonyme des Referenznetzes

Synonym	Beschriftung
1	gibt/ geben ab
2	wird/ werden aufgenommen von
3	ist/ sind Nahrung für
4	stirbt und sinkt als ... ab oder scheidet ... aus
5	werden von ... abgebaut
6	[organ. Substanz im Sediment] wird von ... abgebaut
7	sinken ab ins
8	bildet/ bilden
9	wird durch den bakteriellen Abbau von organ. N-Verbindungen gewonnen
10	bestimmte Bakterien (Nitritbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus NH_4^+
11	bestimmte Bakterien (Nitratbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus Nitrit
12	gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt
13	---
14	betreibt
15	wird aufgenommen von (wenn die Respiration des Phytoplanktons gemeint ist)
16	gibt ab (wenn die Respiration des Phytoplanktons gemeint ist)
17	liefern

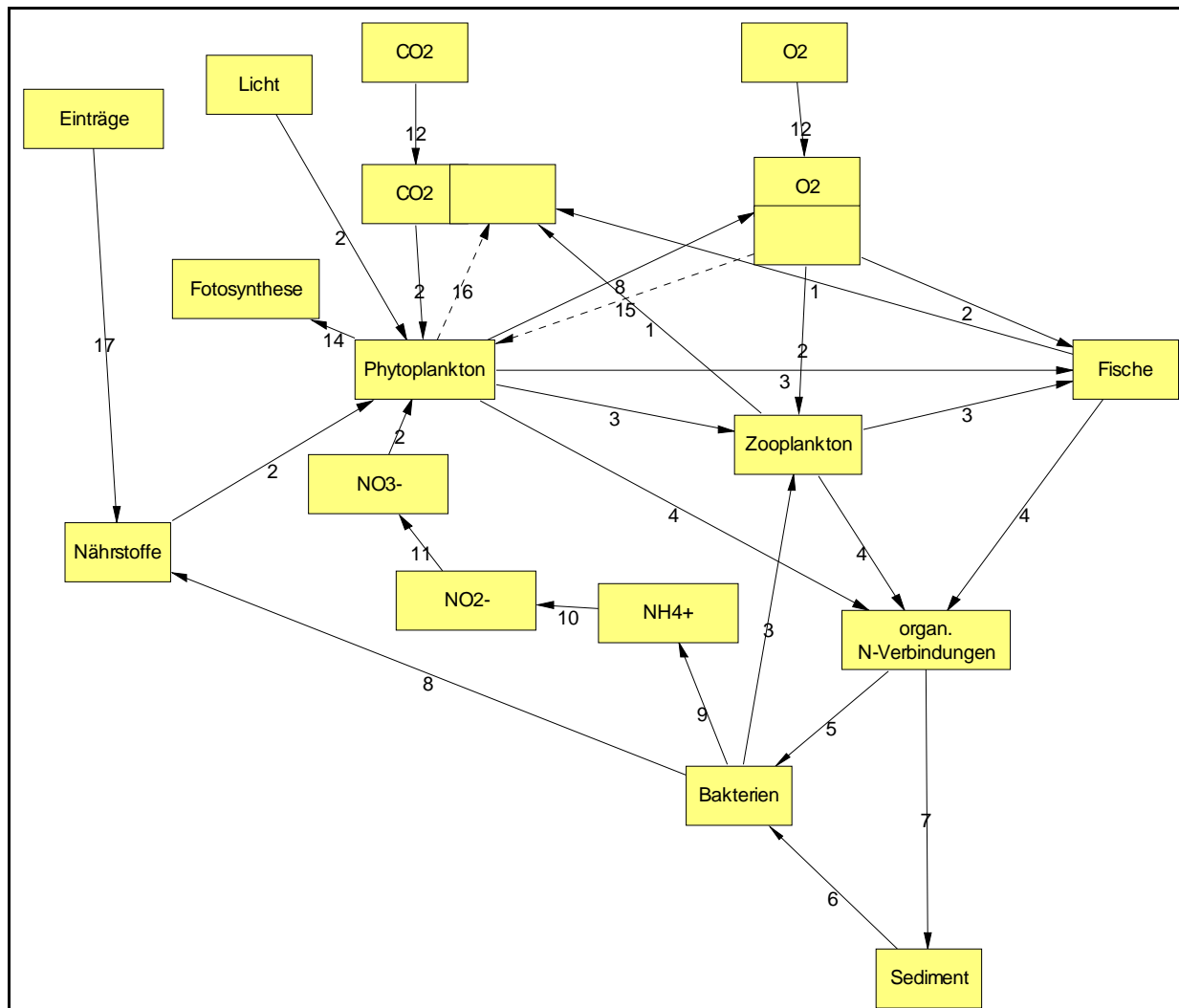


Abb. 14: Referenznetz - marine Nahrungsbeziehungen

Die mit den Synonymen (Nummern an den Pfeilen) repräsentierten Beschriftungen finden sich in Tabelle 6⁷³.

Das Referenznetz beinhaltet zur besseren Übersicht teilweise Knoten (Begriffe), zu denen weitere Begriffe, die in den CM der Schüler vorkamen, zugeordnet wurden. Diese Zuordnung lautete wie folgt:

Nährstoffe: Nährsalze, Mineralien, Phosphat, Silikat, Nitrat bzw. NO_3^- , Ammonium bzw. NH_4^+ , organ. Abfall

organ. N-Verbindungen: Ausscheidungen, Kot

Phytoplankton: Algen

Fische: (Raubfische), Konsumenten höherer Ordnung

Bakterien: Destruenten

Sediment: Boden

Einträge: Einträge aus der Landwirtschaft, durch Menschen, aus Flüssen, Regen etc.

⁷³ In der Abb. 14 finden sich Doppelkästchen (s. CO₂ und O₂), die jeweils als ein Kästchen zu interpretieren sind. Dies ergab sich Software bedingt, da die Software keine Hin- und Rückpfeile zwischen zwei Begriffen zuließ.

III.4.4.3.A Transkription

Die originalen CM der Schüler wurden auf der Basis des Referenznetzes transkribiert. Hierbei erfolgte eine inhaltliche Auswahl an Kanten (Relationen) aus den Originalen der Schüler, die in das transkribierte CM aufgenommen wurden. Dies erfolgte in den folgenden drei Schritten.

Schritt 1:

Auflistung aller Relationen der Concept Maps (CM) der Messzeitpunkte (I-III) (Code⁷⁴)

Es wurden alle Kanten (Relationen) aus den CM als Sätze formuliert und gesammelt. Hinzufügungen, die für die Ausformulierung eines Satzes erforderlich waren, wurden in eckige Klammer gesetzt: [Hinzufügungen in eckige Klammern]. Mehrfach vorkommende Kanten oder solche, die sich inhaltlich überschneiden, wurden nur einmal aufgenommen. Es wurde jeweils der Messzeitpunkt (MZP) (es gab maximal drei MZP) am Ende des Satzes, also der Kante, in römischen Ziffern angegeben (I, II und/oder III). Fachwissenschaftlich falsche Kanten wurden am Ende mit einem „F“ gekennzeichnet.

Schritt 2:

Referenznetz basierte Auswahl von Relationen (Code)

Es wurden Kanten (Relationen) ausgewählt, die inhaltlich mit dem Referenznetz übereinstimmten. Anschließend wurden die Relationen folgendermaßen strukturiert:

1. Zusammenfassung von Relationen
 - Nach Möglichkeit wurden Relationen zusammengefasst.
2. Auflistung der Begriffe und Relationen
 - Es wurden alle Knoten (Begriffe) und Kanten (Relationen) in einer Tabelle nach ihrem Vorkommen in den Messzeitpunkten in einer Tabelle gesammelt. In der Tabelle mit den Relationen sind zudem die Punktwerte (0-3), die zur Bestimmung des individuellen Summenscores dienen, sowie die zugrunde gelegte Regel notiert.
3. Beschriftungen sammeln, zusammenfassen und codieren
 - Es wurden alle Verknüpfungen bzw. Beschriftungen in einer Tabelle gesammelt und nummeriert (codiert). Im Folgenden wurden die CM Computer unterstützt mit der Software MaNET⁷⁵ Version 1.5.0 erstellt. Die Nummern an den Pfeilen der CM entsprachen dann den so genannten Synonymen.

⁷⁴ Mit „Code“ ist der Schülercode gemeint.

⁷⁵ Mannheimer Netzwerk Elaborations Technik MaNET Version 1.5.0

Schritt 3:

Erstellen der transkribierten Concept Maps (CM) (Code)

Mit den in Schritt 2 ausgewählten Kanten (Relationen) wurde für jeden Messzeitpunkt (MZP) ein Concept Map (CM) erstellt. Damit lagen für die folgenden Auswertungsschritte CM vor, die strukturell (grafentheoretisch) und inhaltlich vergleichbar waren. Für die Erstellung des „neuen“ und damit gekürzten CM wurde das Original-CM des jeweiligen Probanden vergleichend berücksichtigt. Zunächst wurde geprüft, welche Kanten zu welchem Messzeitpunkt auftraten bzw. nicht vorhanden waren. Dazu wurde eine Tabelle erstellt, in der die Kanten zusammengefasst wurden (s. Schritt 2.2.). Fachwissenschaftlich falsche Kanten wurden mit einem fett gedruckten, roten Pfeil im CM kenntlich gemacht. Alle CM wurden in einem zweiten Durchgang auf ihre Vollständigkeit geprüft (Gütekriterium: Objektivität). Anschließend wurde die Transkription von einer weiteren Person (Bewerter/ Rater) detailliert geprüft bzw. auf ihre Nachvollziehbarkeit überprüft (Gütekriterium: Intersubjektivität). Wenn der zweite Rater (Bewerter) einen Knoten (Begriff) oder eine Kante (Relation) im Hinblick auf das Original-CM nicht nachvollziehen konnte bzw. anders transkribiert hätte, so wurde das dokumentiert. Etwaige Transkriptionsfehler wurden korrigiert.

III.4.4.3.B Grafentheoretische Auswertung (1)

Die transkribierten CM wurden grafentheoretisch, wie in Kap. III.4.4.1 vorgestellt, ausgewertet und die Interraterreliabilität über die Bestimmung der Spearman-Rangkorrelation ermittelt, die zwischen 0.9 und 1.0 betragen sollte.

III.4.4.3.C Ermittlung des individuellen Summenscores (2)

Die Ermittlung des individuellen Summenscores (IS) basierte auf der Bewertung der einzelnen Kanten (Relationen) im CM. Hierfür wurde eine Skala von 0 - 3 Punkten verwendet (nach Yin et al. 2005, stark modifiziert). Yin et al. (2005) ermittelten den *total accuracy score* als Summe der individuellen Kanten (Relationen) bzw. deren Punktbewertungen. Sie legten ein Bewertungsschema zugrunde, das sich in ihrer Studie unter Einbeziehung näherer Absprachen als reliabel zeigte (Interraterreliabilität: 0.82 bzw. 0.92). Die Bewertung erfolgte bei ihnen ohne Referenznetz. In der vorliegenden Studie war die Interraterreliabilität ohne Referenznetz nicht akzeptabel [Cohens K (kappa): 0,39 – 0,45, s. a. S. 98f.]. Das Bewertungsschema musste somit modifiziert werden. Die Bewertung erfolgte Referenznetz basiert, mit dem damit verbundenen Vorteil, dass eindeutigere Bewertungen möglich wurden und die Interraterreliabilität gut bis sehr gut wurde [Cohens K (kappa): 0,69 – 0,82].

Über den individuellen Summenscore hinaus wurde die Anzahl an Kanten (Relationen) der verschiedenen Punkteniveaus ermittelt, um die Wissensentwicklung auf den verschiedenen Punkteniveaus im Detail abbilden zu können.

Das Bewertungsschema

Die einzelnen Kanten (Relationen) in den transkribierten CM wurden mit einem Punktesystem von 0 bis 3 Punkten bewertet. Die Bewertung der Kanten (Relationen) erfolgte auf der Grundlage der im Folgenden vorgestellten Regeln.

Tabelle 7: Bewertungsregeln zur Bestimmung des individuellen Summenscores (IS)

Punkte	Regeln
0	0.1 Für fachwissenschaftlich falsche Kanten 0.2 Für wissenschaftlich nicht relevante Kanten 0.3 Für selbsterklärende Kanten
1	1.1 Für teilweise fachwissenschaftlich richtige bzw. teilweise fachwissenschaftlich falsche Kanten 1.2 Für fachwissenschaftlich richtige Kanten, die allerdings im Referenznetz nicht enthalten sind.
2	2.1 Für fachwissenschaftlich richtige Kanten, die inhaltlich im Referenznetz vorkommen, wobei allerdings Zwischenschritte fehlen. Aus dem CM des Schülers kann interpretiert werden, dass der fehlende Zwischenschritt nicht einbezogen wurde. 2.2 Für fachwissenschaftlich richtige und im Referenznetz vorkommende Kanten, die jedoch inhaltlich unvollständig bzw. ungenau sind. 2.3 Für Beispiele, die zwar nicht im Referenznetz vorkommen, jedoch ein tieferes Fachwissen darstellen.
3	3.1 Für Kanten, die im Referenznetz vorkommen und fachwissenschaftlich richtig beschriftet sind. 3.2 Für Kanten, die inhaltlich im Referenznetz vorkommen, jedoch nicht mit dieser Kante. Der Inhalt ist fachwissenschaftlich richtig dargestellt. 3.3 Für Kanten, die nicht im Referenznetz vorkommen, die aber wissenschaftlich in Bezug auf das Nahrungsnetz sehr hochwertig sind.

Nebenabsprachen [N]:

Für folgende Kanten (Relationen) des Referenznetzes galten die folgenden Nebenabsprachen (N) für die Bewertung:

N 1: „[Organ. Substanz im] Sediment wird von Bakterien abgebaut.“

Kanten (Relationen) aus CM der Schüler, bei denen aus dem gesamten CM hervorging, dass organ. Substanz im Sediment von Bakterien abgebaut bzw. zersetzt wird, wurden mit 3 Punkten bewertet.

Kanten (Relationen), bei denen aus dem Schüler-CM nicht explizit hervorging, dass die organ. Substanz im Sediment gemeint ist, wurden mit 2 Punkten bewertet.

N2: „Nährstoffe werden von Phytoplankton aufgenommen.“

Wenn statt Nährstoffe „NH₄⁺“ im CM stand, war die Bewertung folgendermaßen durchzuführen:

Wenn deutlich wurde, dass NH₄⁺ ein Nährstoff für das Phytoplankton ist, allerdings NO₃⁻ vom Phytoplankton bevorzugt aufgenommen wird, wurde die Kante (Relation) mit 3 Punkten bewertet. Wenn NH₄⁺ und NO₃⁻ gleichwertig dargestellt waren bzw. nur NH₄⁺ als Nährstoff für Phytoplankton, so wurde die Kante (Relation) mit 2 Punkten bewertet.

N3: „Phytoplankton, Zooplankton und Fische sterben und sinken als organ. N-Verbindungen ab.“

Diese Nebenansprache bezieht sich auch auf entsprechende Folgekanten:

„Organ. N-Verbindungen sinken ab ins Sediment.“

„Organ. N-Verbindungen werden von Bakterien abgebaut.“

Wenn in dem CM statt „organ. N-Verbindungen“ die entsprechenden toten Lebewesen standen, wurde die Bewertung folgendermaßen vorgenommen:

Für die erste Kante wurden 0 Punkte vergeben, da sie dann eine selbsterklärende Kante war.

Ein Beispiel: „Zooplankton stirbt und ist totes Zooplankton.“

Die Folgekanten wurden dann jedoch so bewertet, als würde - statt der „toten Lebewesen“ (im Bsp.: totes Zooplankton) - „organ. N-Verbindungen“ in dem CM stehen, woraus sich für die folgenden Kanten die vollen Punktbewertungen ergaben.

N4: „Organ. N-Verbindungen sinken ins Sediment ab.“

Kanten, die derart lauteten, dass die organ. N-Verbindungen das Sediment sind oder zu Sediment werden, wurden mit 2 Punkten bewertet, da der Schüler nicht zwischen Sediment und der abgelagerten organ. Substanz unterschieden hat. Anorganische Bestandteile der organ. Substanz werden erst nach Verwesungs- bzw. Abbauprozessen zu Sediment, so z. B. die Kalkschalen mancher Phytoplankter oder die Bestandteile der Knochen von Lebewesen höherer Trophieebenen. Falls solche Verwesungsprozesse in den CM zu finden sind, wurde die Kante mit 3 Punkten bewertet.

N5: „Phytoplankton gibt CO₂ ab.“ bzw. „Phytoplankton nimmt O₂ auf.“

Kanten, die dem Nebenweg der fotosynthetischen Sekundärreaktion (Photorespiration) bzw. der Respiration autotropher Lebewesen entsprachen, wurden folgendermaßen bewertet:

Sie wurden jeweils mit einem Punkt bewertet, wenn nur die O₂-Aufnahme bzw. CO₂-Abgabe im CM dargestellt war, also ohne die fotosynthetische O₂-Produktion und CO₂-Aufnahme. Wenn beides dargestellt war, also die fotosynthetische O₂-Bildung und CO₂-Aufnahme sowie die fotorespiratorische oder dissimilatorische O₂-Aufnahme bzw. CO₂-Abgabe, wurden die Kanten mit 3 Punkten bewertet.

Interrater-Reliabilitätsprüfung

Bei nominalskalierten Daten (dichotome und polytome Kategoriensysteme) kann die Interrater-Reliabilität mit dem Cohens K (kappa) bestimmt werden. **Cohens K (kappa)** basiert auf der prozentualen Übereinstimmung zweier *Rater* (Bewerter) und berücksichtigt dabei das Verhältnis der beobachteten zu der bei Zufall erwarteten Übereinstimmung. Damit liefert Cohens K eine standardisierte Maßzahl (zwischen -1 und +1) für das Ausmaß, in dem die tatsächlich beobachtete Übereinstimmung positiv von der Zufallserwartung abweicht (Wirtz & Caspar, 2002). In der vorliegenden Studie wurde der individuelle Summenscore von zwei unabhängigen *Ratern* (Bewertern) bestimmt, deren Übereinstimmung mithilfe des Cohens K ermittelt wurde. In Anlehnung an Wirtz und Caspar (2002) wurde der Cohens K nach folgender Regel übersetzt (Wirtz und Caspar, 2002):

Cohens K > 0,75 → ein Indikator für sehr gute Übereinstimmung

Cohens K > 0,6 & < 0,75 → ein Indikator für gute Übereinstimmung

Wirtz und Caspar (2002) weisen ausdrücklich darauf hin, dass dieses Maß in Abhängigkeit der Inferenz des zu *ratenden* (bewertende) Konstrukts zu bewerten ist. Für ein schwer zu erfassendes Merkmal kann 0,5 ein zufriedenstellender Cohens K sein.

Da die Übereinstimmung mit einem Bewertungsschema ohne Referenznetz nicht ausreichend war [Cohens K (kappa): 0,39 – 0,45], auch nicht unter der Annahme, dass es sich hier um ein schwer zu *ratendes* (bewertendes) Konstrukt handelt (s. o.), wurde das vorgelegte Bewertungsschema (s. S. 96) entwickelt, das auf einem Referenznetz basiert. Ausgehend von diesem Bewertungsschema wurden gute bis sehr gute Interraterreliabilitäten erreicht (Cohens K: 0,69 – 0,82).

III.4.4.3.D Unterschiedsprüfung

Zur Untersuchung der Wissensentwicklung wurden die Daten der drei Messzeitpunkte [Pre-Test (MZIP I), Zwischentest (MZIP II) und Post-Test (MZIP III)] auf signifikante Unterschiede geprüft. Dazu diente der **Wilcoxon Test**. Dieser Test prüft, ob sich die Werte einer verbundenen Stichprobe im Durchschnitt systematisch voneinander unterscheiden und geht damit von der Nullhypothese aus, dass sie sich unterscheiden. Er ist für ordinalskalierte Daten bzw. intervallskalierte Daten geeignet, die keiner Normalverteilung folgen (Details s. Wirtz und Caspar, 2002, S. 129f.) und ist auch bei sehr kleinen Stichproben (z. B. $N = 10$) zulässig.

Dieser Test prüft die Differenz der zentralen Tendenz der Werteverteilung zweier Stichproben. Dazu werden zunächst die Differenzen der verbundenen Stichproben gebildet. Für die Beträge dieser Differenzen wird dann die Rangreihe ermittelt. Hierbei wird bei verbundenen Rängen den einzelnen Personen der Mittelwert über die Rangplätze zugeordnet. Anschließend können zwei Rangsummen gebildet werden: T^- und T^+ . T^+ gibt die Summe über die Ränge der Personen an, deren Differenz ein positives Vorzeichen besitzt und T^- entsprechendes für die Differenz mit negativen Vorzeichen. Der Prüfwert ist dann:

$$T = \min(T^+, T^-).$$

Die Kennwerteverteilung ist bei großen Stichprobenumfängen ($n > 25$) unter der H_0 um diesen Wert normalverteilt. Wenn nur eine kleine Stichprobe untersucht wird, wie es in der vorliegenden Studie der Fall war, kann der kritische Wert einer Tabelle entnommen werden (s. Wirtz, 2002, Anhang J). Der kleinere Wert für T , also T_{\min} , darf den kritischen Wert nicht überschreiten. Wenn T_{\min} den kritischen Wert nicht überschreitet, sind die Werte mit der entsprechenden Wahrscheinlichkeit ($p = 0.1$ oder $p = 0.05$) signifikant verschieden.

III.4.4.3.E Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (3a)

Für die Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte wurden die entsprechenden Kanten (Relationen) in einer Tabelle gesammelt (Tabellenvorlage s. Tabelle 8). Diese Kanten wurden inhaltlich den untersuchten biologischen Fachkonzepten zugeordnet. Die Tabelle ist in die drei Messzeitpunkte (MZP I bis III) aufgeteilt. Es wurden von jedem einzelnen Schüler die fachlich richtigen Kanten unter das entsprechende Fachkonzept eingetragen. In den Spalten der jeweiligen Messzeitpunkte wurde mit einem „x“ notiert, zu welchem Messzeitpunkt die jeweilige Kante im CM eines Schülers zu finden war. Diese Auswertung findet sich im Anschluss an die Transkripte von jedem Schüler (s. Anhang, Kap. VII.6.1). Ziel war die Aufklärung der maximalen Variation in der Stichprobe. Dafür ist es irrelevant, ob sich ein Inhalt bei einem Schüler oder bei allen Schülern zeigt. Relevant ist vielmehr, ob sich ein Inhalt in der Stichprobe zeigt. Deshalb wurden die Kanten der Schülergruppe gesammelt und für jedes Fachkonzept eine Tabelle angelegt, in der alle fachwissenschaftlich richtigen Kanten gesammelt und etwaige nähere Erläuterungen ergänzt wurden. Da die qualitativen Auswertungen zur Ergänzung der quantitativen Auswertung dienten, wurden für die Abbildung der Wissensentwicklung Schülerzahlen erfasst. Es wurde ausgezählt, wieviele Schüler die entsprechende Kante in ihrem CM des entsprechenden MZP dargestellt haben.

Tabelle 8: Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte in den Concept Maps

Fachwissenschaftlich richtige Kanten nach Fachkonzepten kategorisiert	MZP I	MZP II	MZP III
Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser:			
<i>Weitere Kanten (Relationen)...</i>			
Fotosynthese und Nährstoffe:			
<i>Weitere Kanten (Relationen)...</i>			
Respiration des Phytoplanktons:			
<i>Kanten (Relationen)...</i>			
Respiration heterotropher Lebewesen:			
<i>Kanten (Relationen)...</i>			
Einfache Nahrungskette:			
Phytoplankton wird von Zooplankton gefressen.			
<i>Kanten (Relationen)...</i>			
Mikrobielle Schleife:			
<i>Kanten (Relationen)...</i>			
Nährstoffkreislauf:			
<i>Kanten (Relationen)...</i>			
Nitrifikation:			
<i>Kanten (Relationen)...</i>			

III.4.4.3.F Ermittlung der fachwissenschaftlich falschen Kanten (3b)

Für die Ermittlung der fachwissenschaftlich falschen Kanten wurden die entsprechenden Kanten in einer Tabelle gesammelt (s. Tabelle 9). Diese wurden inhaltlich den untersuchten biologischen Fachkonzepten zugeordnet (s. Kap. II.4.2). Die Tabelle ist in die drei Messzeitpunkte (MZP I bis III) aufgeteilt. Die in den CM vorkommenden falschen Kanten wurden unter das entsprechende Fachkonzept eingetragen. In den Spalten der jeweiligen Messzeitpunkte wurde, für eine gute Nachvollziehbarkeit der Daten, notiert, welcher Proband diese Kante zu welchem MZP darstellt, indem der Code des Probanden (z. B. HEHE) eingetragen wurde. Wenn eine falsche Kante zu einem nächsten MZP von dem Schüler korrigiert worden ist, so wurde dies mit einem „K“ in Klammern hinter dem Schüler-Code angegeben. Die Entscheidung darüber, dass die Darstellung der falschen Kanten mit den Schülercodes erfolgt, resultierte aus zwei Gründen: Erstens dient diese Darstellung der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit und zweitens lässt sich damit die Variation in der Stichprobe am besten abbilden. Es sei betont, dass es nicht darum geht die Daten einzelner Schüler hervorzuheben, sondern darum, wie es auch für die Auswertung der erfassten Inhalte gilt, die Variation in der Stichprobe herauszuarbeiten und das mit einer möglichst hohen intersubjektiven Nachvollziehbarkeit. Es wurde unterschieden zwischen *eindeutig falschen Kanten* und *nicht eindeutig falschen Kanten*. Eindeutig falsche Kanten sind Inhalte, die im CM eindeutig fachwissenschaftlich falsch dargestellt sind. Nicht eindeutig falsche Kanten sind Inhalte, die im CM fachwissenschaftlich falsch dargestellt sind. Es gab allerdings Zweifel daran, dass dieser Inhalt von dem Schüler auch in falscher Bedeutung verwendet wurde. Möglicherweise war der dargestellte Inhalt „nur“ ungeschickt formuliert. Da keine Möglichkeit bestand diese Frage zu klären, wurden diese Kanten als nicht eindeutig falsche Kanten erfasst. In der Tabelle 9 wird unter dem Fachkonzept „Fotosynthese und Nährstoffe“ ein Beispiel für eine eindeutig falsche Kante und deren Dokumentation vorgelegt. Da die Ergebnisse dieser qualitativen Auswertung zur Ergänzung der Ergebnisse der quantitativen Auswertung der Wissensentwicklung dienten, wurde zudem ermittelt, wieviele Schüler in den jeweiligen MZP falsche Kanten in ihren CM dargestellt haben.

Tabelle 9: Ermittlung der fachwissenschaftlich falschen Kanten in den Concept Maps

Fachwissenschaftlich falsche Kanten nach Fachkonzepten kategorisiert	MZP I	MZP II	MZP III
Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser:			
<i>Kanten (Relationen)...</i>			
Fotosynthese und Nährstoffe:			
Zooplankton ist ein fotosynthetisch autotrophes Lebewesen.	HEHE, BIMA	HEHE(K), BIMA	BIMA (K)
<i>Kanten (Relationen)...</i>			
Respiration des Phytoplanktons:			
<i>Kanten (Relationen)...</i>			
Dissimilation (Respiration) heterotropher Lebewesen:			
<i>Kanten (Relationen)...</i>			

Fortsetzung der Tabelle 9:

Fachwissenschaftlich falsche Kanten nach Fachkonzepten kategorisiert	MZP I	MZP II	MZP III
Einfache Nahrungskette:			
<i>Kanten (Relationen)...</i>			
Mikrobielle Schleife:			
<i>Kanten (Relationen)...</i>			
Nährstoffkreislauf:			
<i>Kanten (Relationen)...</i>			
Nitrifikation:			
<i>Kanten (Relationen)...</i>			

III.4.5 Organisation und Durchführung der Erhebungen

Hinweis auf Testethik

Die Schüler wurden vor jeder Erhebung explizit darauf hingewiesen, dass die Teilnahme freiwillig ist, rein wissenschaftlichen Zwecken dient und nicht in ihre schulische Leistungsbewertung einfließt.

Einführung in die Concept-Map-Methode

Vor dem ersten Einsatz der CM-Aufgabe in einer Gruppe erhielten die Schüler eine Einführung in die Methode (s. Kap. III.4.3.4). Diese Einführung erfolgte also vor der erstmaligen Erstellung eines CM, in dem Biologie-Leistungskurs vor dem Pre-Test und in dem Projektkurs vor dem Zwischentest.

Pre-Test

Der Pre-Test beinhaltete den Einsatz des Fragebogens zum Interesse und dem Selbstkonzept im Fach (s. Anlage, Kap. VII.3.1) sowie im Falle des Biologie-Leistungskurses eine Vorwissensuntersuchung unter Einsatz der CM-Aufgabe (s. Kap. III.4.3.2).

Das Ausfüllen der Fragebögen erfolgte einzeln ohne zeitliche Begrenzung. Die Schüler hatten die Möglichkeit Fragen zur Ausfülltechnik laut vor der gesamten Gruppe an die Forscherin zu stellen. Kommunikation untereinander, also mit ihren Mitschülern war untersagt.

Die CM-Aufgabe wurde nach dem Fragebogen eingesetzt.

Im Anschluss an die Einführung in die Concept-Map-Methode (s. o.) erfolgte die Bearbeitung der CM-Aufgabe (s. Kap. III.4.3.2), wofür max. 40 Minuten zur Verfügung standen. Die Schüler wurden in einem Raum so platziert, dass sie keinen direkten Einblick auf bzw. in die CM ihrer Mitschüler hatten.

Zwischentest

Die Schüler des Biologie-Leistungskurses wurden direkt zum Erstellen eines CM aufgefordert. Die Schüler des Projektkurses wurden erst nach der Einführung in die Concept-Map-Methode zum Erstellen eines CM aufgefordert (s. Kap. III.4.3.2).

Die Schüler wurden so platziert, dass sie keinen Einblick auf bzw. in ein CM ihrer Mitschüler hatten. Die Bearbeitungszeit betrug max. 40 Minuten.

Post-Test

Im Post-Test wurden die entsprechenden Fragebögen (s. Anlage, Kap. VII.3.2) eingesetzt, in denen das Interesse der Schüler und die Interessantheit der Lernumgebung erhoben wurden. Die Ausfüllzeit war nicht begrenzt.

Im Biologie-Leistungskurs wurde anschließend wieder die CM-Aufgabe zur Bearbeitung gestellt. Für die Erstellung der CM standen den Schülern wieder max. 40 Minuten zur Verfügung.

III.5 Vorstudie

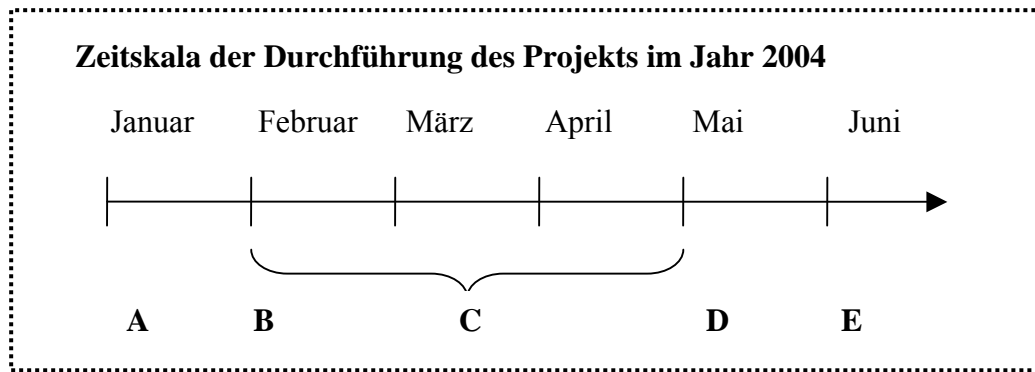
Die Vorstudie hatte zwei Ziele: Zum einen diente sie der Entwicklung eines möglichst projektnahen Evaluationsinstruments. Zum anderen diente sie der Validierung der Erhebungsinstrumente.

Die Validierung des Erhebungsinstruments für Wissen, also der CM-Aufgabe, erfolgte in einem Biologie-Leistungskurs (s. Kap. III.4.3.1), deren Projektstruktur im Folgenden vorgestellt wird (s. Kap. III.5.1).

Die Validierung des Erhebungsinstruments für Interesse, das Selbstkonzept im Fach und die Interessantheit der Lernumgebung erfolgte bei Schülern verschiedener Biologie-Leistungskurse, die an einer Tagesausfahrt mit dem Umweltverein Hohe Tied teilgenommen hatten (s. Kap. III.4.1.1).

III.5.1 Projektstruktur des Biologie-Leistungskurses der Vorstudie

Zur Entwicklung eines projektnahen Evaluationsinstruments wurde ein Gruppenprojekt beobachtend begleitet. Das Projekt „Vom Land über den Fluss in die Förde: Frühjahrsuntersuchungen in der Schwentine“, angeboten von der Marinen Biogeochemie des IFM-GEOMAR, betreut durch zwei Wissenschaftlerinnen, wurde von einem Biologie-Leistungskurs der Jahrgangsstufe 12 (13 Schüler, davon 3 männlich und 10 weiblich) von Februar bis Juni 2004 durchgeführt.



A: Im Januar formulierten die Schüler in Zusammenarbeit mit ihrem Lehrer ihre „Fachfragen“⁷⁶ zum Thema. Diese Fragen richtete der Kurs schriftlich an die Wissenschaftlerinnen des IFM-GEOMAR.

B: Anfang Februar erfolgte eine zweistündige Einführung durch die Wissenschaftlerinnen in relevante allgemeine Konzepte der Fachwissenschaft und in die Bearbeitung der von den Schülern gestellten Fachfragen in der Schule. Im Anschluss wurden drei Arbeitsgruppen (1. Nährsalze/ Chlorophyll; 2. CTD-Sonde; 3. Plankton) zur Bearbeitung der Fragen festgelegt. Den Schülern standen fünf Unterrichtsstunden pro Woche⁷⁷ für Ihre Projektarbeit zur Verfügung.

C: Experimentelle Arbeiten (Durchführung der Messungen und Auswertungen) wurden von Februar bis Mai durchgeführt. An insgesamt vier Nachmittagen wurden Proben genommen und an drei Nachmittagen wurden die Proben in Labors des IFM-GEOMAR analysiert. Die betreuende Wissenschaftlerin kam an fünf Terminen zur Unterstützung der Arbeit bzw. Auswertungen in die Schule.

D: Die Schüler haben Ihre Zwischenergebnisse Anfang Mai, im Rahmen einer Ausstellung auf dem Forschungsschiff „Alkor“, der Öffentlichkeit präsentiert.

E: Anfang Juni haben die Schüler Ihre Ergebnisse als wissenschaftliches Manuskript zur Bewertung eingereicht. Außerdem haben sie ihre Arbeiten einem Fachkreis aus Lehrern und Wissenschaftlern in Vorträgen präsentiert und sich im Anschluss einer kritischen Diskussion gestellt.

Im Rahmen des Schulunterrichts wurden zwei Klausuren geschrieben (eine zu Anfang/ Mitte des Projekts und eine weitere zum Ende des Projekts). In der zweiten Klausur wurde die CM-Aufgabe, die im Rahmen der Vorstudie für den Einsatz als Wissenserhebungsinstrument getestet werden sollte, eingesetzt (s. a. Kap III.4.3.1).

⁷⁶ Eine Fachfrage lautete z. B.: „Wie wirken sich ändernde chemisch-physikalische Parameter auf die Artenzusammensetzung (insbesondere des Planktons) aus?“

⁷⁷ Die fünf Unterrichtsstunden sind die Biologie-Leistungskurstunden, die im Lehrplan vorgesehen sind.

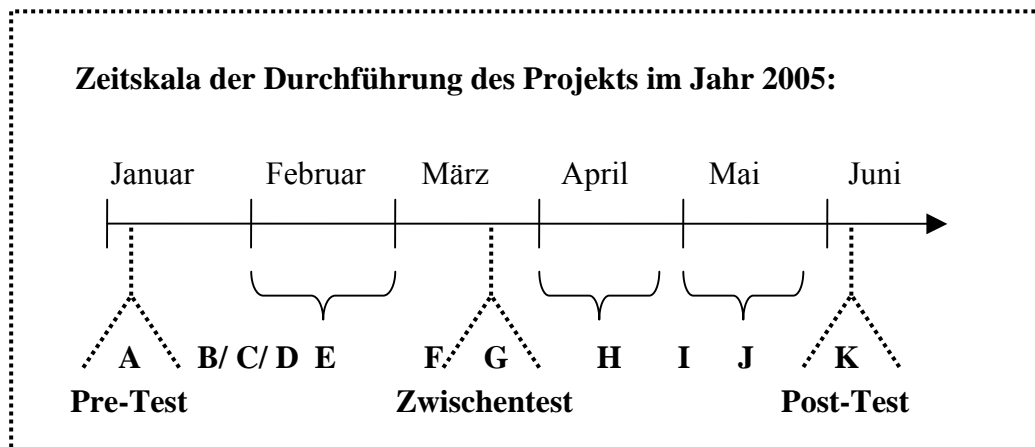
III.6 Hauptstudie

Die Stichprobe der Hauptstudie setzte sich aus einem Biologie-Leistungskurs (16 Schüler) (s. Kap. III.6.1) und einem Projektkurs (20 Schüler) (s. Kap. III.6.2) zusammen (s. a. Kap. III.1). Die Projektstruktur, also die Durchführung der NaT-Working Projekte und der Datenerhebungen für die vorgelegte Studie, werden im Folgenden vorgestellt.

III.6.1 Projektstruktur des Biologie-Leistungskurses der Hauptstudie

Das Projekt „Entstehung einer Algenblüte: Vergleich von Kultur und Natur“, angeboten von der Marinen Biogeochemie des IFM-GEOMAR und betreut durch zwei Wissenschaftlerinnen, wurde von einem Biologie-Leistungskurs der Jahrgangsstufe 12 (16 Schüler, davon 10 weiblich und 6 männlich) von Januar bis Juni 2005 durchgeführt. Die betreuenden Wissenschaftlerinnen waren dieselben, die im Vorjahr das Projekt „Vom Land über den Fluss in die Förde: Frühjahrsuntersuchungen in der Schwentine“ betreut hatten (s. Vorstudie, Kap. III.4.3.1). Erfahrungen aus dem Projekt des Vorjahres konnten in die Konzeption dieses Projekts einfließen. So wurde die Integration des Projekts in den Lehrplan nun explizit berücksichtigt, indem Unterrichtsphasen aufgenommen wurden, in denen Abitur relevante Inhalte durchgenommen wurden. Ein weiterer Kritikpunkt der Schüler des Vorjahres war es, dass ihnen die Übersicht bezüglich der bearbeiteten Inhalte und angewendeten Methoden gefehlt hat. In dem Projekt des Jahres 2005 sollten Arbeitsgruppen in Doppelansätzen⁷⁸ und verstärkte Durchführung von gemeinsamen Besprechungen (Vorstellen der Zwischenergebnisse, besprechen von Problemen und gegebenenfalls Unterstützung durch Experten etc.) dieses Problem ausräumen.

⁷⁸ Doppelansatz: Je zwei Arbeitsgruppen bearbeiten die gleichen Experimente.



A: Im Januar formulierten die Schüler in Zusammenarbeit mit Ihrem Lehrer ihre Forschungsfragen.

B: 27.01.2005: Einführung in die Methode des Concept Mappings und **Pre-Test** [Interessenerhebung (Fragebogen) und Wissenserhebung (CM-Aufgabe)]. Die Durchführung erfolgt in der Schule.

C: 31.01.2005: Einführung in relevante allgemeine Konzepte der Fachwissenschaft (Saisonalität, Netto-Brutto-Produktion und Limitation) durch die Wissenschaftlerinnen (Doppelstunde). Im Anschluss wurden die Inhalte und einzusetzende Messmethoden der beiden Arbeitsgruppen vorgestellt. Die Gruppen bestehen jeweils aus zwei Kleingruppen und stellten damit in Bezug auf die Experimente Doppelansätze dar.

Die Gruppe I führte „Feldmessungen“ durch, d. h. die Schüler erhoben die Daten direkt am Wasser (der Förde) und konzentrierten sich auf das Vorkommen von Algen und deren Wachstumsbedingungen in der Natur.

Die Gruppe II führte „Labormessungen“ durch, d. h. die Schüler arbeiteten an Algenkulturen in der Schule (zwei verschiedene Algenarten für Vergleichsmessungen) und konzentrierten sich auf den Einfluss verschiedener Wachstumsbedingungen (Nährstoffkonzentrationen) auf das Algenwachstum unter kontrollierten Laborbedingungen. Den Schülern standen pro Woche die fünf Unterrichtsstunden ihres Biologie-Leistungskurses für Ihre Projektarbeit zur Verfügung.

D: 3.02.2005: Ansetzen der Experimente und Einführung in die Probennahmen durch die Wissenschaftlerinnen.

E: In der ersten Phase des Projekts, in der die Algen in Kultur zunächst wachsen mussten, erfolgte zu gut 50% Unterricht durch den Lehrer. Dieser Unterricht konzentrierte sich auf abiturrelevante Inhalte der Ökologie, die eher indirekt mit den Inhalten des Projekts in Verbindung standen. Die Schüler führten unterrichtsbegleitend die Probennahmen selbstständig und zum Teil mit der Unterstützung durch eine Wissenschaftlerin durch.

F: 03.03.2005: Beginn der Datenauswertungen mit der Wissenschaftlerin. Im März erfolgten die Datenerhebungen und -analysen in der Forschungseinrichtung (insgesamt drei Termine im IFM-GEOMAR).

G: 17.03.2005: **Zwischentest** [2. Wissenserhebung (CM-Aufgabe) im IFM-GEOMAR]. Die Gruppe wurde geteilt, so dass parallel experimentelle Arbeiten durchgeführt werden konnten (Mikroskopieren von Plankton-Proben)⁷⁹.

H: Im April erfolgten Datenanalysen in der Schule (teilweise mit Unterstützung einer Wissenschaftlerin).

I: Am 30.4.2005 präsentierten die Schüler ihre Zwischenergebnisse am „Tag der offenen Tür“ des IFM-GEOMAR der Öffentlichkeit.

J: Im Mai stand den Schülern ihre Unterrichtszeit für die Erstellung der Abschlussberichte zur Verfügung. Außerdem nahmen die Schüler an einer Ausfahrt mit dem Hohe Tied e.V. teil (11.05.2005) und ein Wissenschaftler des Landesamts für Natur und Umwelt (LANU) hielt einen Vortrag in der Schule (23.05.2005). Ende Mai reichten die Schüler Ihre Ergebnisse als wissenschaftliches Manuskript zur Bewertung ein. Am 30.05.2005 wurde die Abschlussklausur geschrieben.

K: 02.06.2005: **Post-Test** [Interessenerhebung (Fragebogen) und Wissenserhebung (CM-Aufgabe)]. Die Durchführung erfolgte in der Schule.

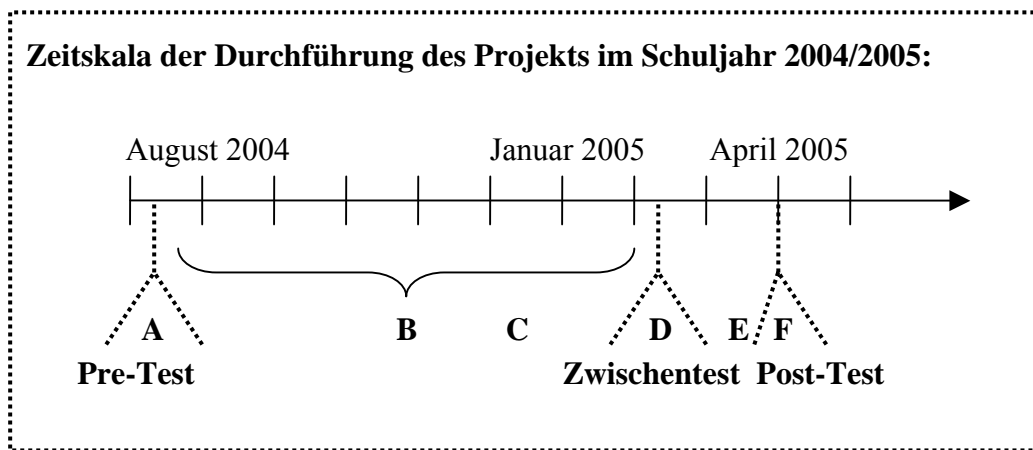
III.6.2 Projektstruktur des Projektkurses

Das Projekt „Spiel ums Meer“ wurde von einem Projektkurs der Jahrgangsstufe 13 (20 Schüler, davon 13 weiblich, 6 männlich und einer ohne Angabe des Geschlechts) in dem Schuljahr 2004/ 2005 durchgeführt. Die Schüler dieses Projektkurses hatten die Aufgabe das Spiel ums Meer weiter zu entwickeln. Die Entwicklung dieses Spiels wurde im Vorjahr (2003/ 2004) von einem anderen Projektkurs der Lehrkraft begonnen und auf der „Ausstellung meereskundlicher Schülerarbeiten“ am 5. Mai 2004 der Öffentlichkeit präsentiert. Das Lernziel war mit der Entwicklung des Spiels bzw. der Weiterarbeit daran verschiedene Teile eines Ökosystems detailliert zu betrachten und zu erschließen, was am Beispiel des Ökosystems Meer möglich werden sollte. Das Spiel sollte zum Abschluss am Tag der offenen Tür (im Jahr 2005) des IFM-GEOMAR der Öffentlichkeit mit seinen Erweiterungen erneut vorgestellt werden.

Der Projektkurs ist ein Schulfach, das in der Jahrgangsstufe 13 als Methodenkurs im Lehrplan vorgesehen ist. In NaT-Working „Meeresforschung“ nahm dieser Projektkurs eine gewisse Sonderstellung ein, da die Schüler nicht empirisch-experimentell arbeiteten. Sie eigneten sich vielmehr selbstständig (in Gruppen) und arbeitsteilig Wissen zum „Ökosystem Meer“ an, wobei die fachwissenschaftliche Betreuung hauptsächlich die Lehrerin⁸⁰ übernommen hat.

⁷⁹ Ein Proband musste aus privaten Gründen zwei Tage früher, also am 15.3.2005, die CM-Aufgabe bearbeiten. Vier Schüler fehlten am 17.3.2005 und waren auch für die zweite Wissenserhebung aus schulorganisatorischen Gründen nicht mehr erreichbar.

⁸⁰ Die Lehrerin hatte einen sehr engen Bezug zur Forschungseinrichtung, das sowohl inhaltlich als auch persönlich.



A: Der **Pre-Test** wurde am 10.8.2004 durchgeführt. Da die Schüler das Fach „Projektkurs“ vorher noch nicht in der Schule hatten, erfolgte eine Teilung des Pre-Tests, indem ein Fragebogen zum Selbstkonzept im Fach zeitlich versetzt (am 14.09.04) eingesetzt wurde⁸¹. Das Ausfüllen der Fragebögen erfolgte jeweils in der Schule im Kursraum unter Aufsicht.

B: In dieser Phase des Projekts beschäftigten sich die Arbeitsgruppen intensiv mit Teilaspekten des Ökosystems Meer (wie z. B. dem Kohlenstoffkreislauf oder Nahrungsbeziehungen), um dann das so erworbene Wissen untereinander auszutauschen.

C: Im Januar wurden Kolloquien mit Vorträgen der Kleingruppen, unter Teilnahme von Wissenschaftlern des IFM-GEOMAR, durchgeführt.

D: Der **Zwischentest** wurde am 15.3.2006 in der Schule durchgeführt (Wissenerhebung).

E: Am 12.04.2005 wurde die Spielroute mit einem Wissenschaftler vom IFM-GEOMAR im Plenum, d. h. in der Gesamtgruppe in der Schule, überarbeitet.

F: Der **Post-Test** wurde am 30.4.2005 bei der Schülerausstellung durchgeführt, die im Rahmen des „Tag der offenen Tür“ am IFM-GEOMAR stattfand. Dort präsentierten die Schüler des Projektkurses ihr Arbeitsergebnis - das „Spiel ums Meer“ - und hatten Gelegenheit das Spiel mit den Besuchern zu testen. Das Ausfüllen der Fragebögen erfolgte in einem separaten Raum, in dem die Schüler jeweils unter Aufsicht einen Fragebogen ausfüllen konnten. Da die Schüler in ihrem Projekt nicht experimentell gearbeitet hatten, wurden sie im Post-Test aufgefordert sämtliche Items, die sich auf „Experimente“ beziehen, auf die Entwicklung des Spiels bzw. die Erarbeitung der Inhalte zu beziehen. Für diese Entwicklung bzw. Weiterentwicklung des „Spiels ums Meer“ haben die Schüler hauptsächlich textbasiert gearbeitet und zwar einzeln und in Gruppen.

⁸¹ Die Erhebung der Leistung in Form der Schulnote im Fach „Projektkurs“ entfiel, da die Schüler noch keine Note in diesem Fach hatten.

IV. Ergebnisse

Zunächst werden die Ergebnisse über das Interesse der Schüler vorgestellt. Darin werden die untersuchten Kurse [Biologie-Leistungskurs (Bio-LK) und Projektkurs, s. Stichprobe, Kap. III.1] sowohl einzeln als auch zusammengefasst untersucht. Der Einfluss der Projektteilnahme auf das Schulfach- und Berufsinteresse der Schüler wird in Kap. IV.1.1 vorgelegt. Daran schließen sich die Ergebnisse des aktualisierten individuellen Interesses an, einschließlich der Aufklärung potenzieller Einflussvariablen (s. Kap. IV.1.3). Als Einflussvariablen werden das individuelle Interesse sowie das Selbstkonzept im Fach (Kap. IV.1.3.1) und die Interessantheit der Lernumgebung (Kap. IV.1.3.2) mittels Korrelationsanalysen untersucht. Hieran schließen sich die Ergebnisse des Wissens der Schüler an (Kap. IV.2). Darin werden zuerst die grafentheoretischen Auswertungen der Concept Maps (CM) ohne Referenznetz vorgestellt, die in der Mitte der Projekte (MZP II⁸²) erhoben wurden. Ziel ist über den Vergleich der beiden Kurse hinaus, die Aufklärung von möglichen Einflussvariablen auf den Wissensaufbau und die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Wissen und Interesse (Kap. IV.2.1.3).

Daran schließt sich in Kap IV.3 eine detaillierte Analyse der Wissensentwicklung der Schüler des Bio-LK an, die auf den CM basiert, welche mithilfe des Referenznetzes erstellt wurden. Es werden Ergebnisse quantitativer und qualitativer Auswertungen vorgestellt.

IV.1 Interesse

Die nun folgende Untersuchung des Interesses setzt sich zusammen aus einer Pre-Post-Test Erhebung des Schulfach- und Berufsinteresse der Schüler und der Aufklärung der Frage, ob die Projektteilnahme einen Einfluss auf diese Schülerinteressen hat (Kap. IV.1.1). Weiterhin werden das aktualisierte individuelle Interesse, das im Post-Test erhoben wurde, und etwaige Einflussvariablen auf dieses Interesse untersucht (Kap. IV.1.3).

⁸² MZP II = Zwischentest

IV.1.1 Fach- und Berufsinteresse

Das Fachinteresse an dem Schulfach, in welches das NaT-Working Projekt eingebunden war, und das Interesse an einem naturwissenschaftlichen Beruf wurden vor dem Projekt im Pre-Test erhoben (s. Skalendokumentation, Kap. III.4.1). Im Post-Test wurde danach gefragt, ob sich das jeweilige Interesse verändert hat. Außerdem wurde mit einem offenen Antwortformat nach der Begründung für die Interessenänderung bzw. keine Änderung gefragt. Die Ergebnisse werden im Folgenden zunächst für den Bio-LK (Kap. IV.1.1.1), dann für den Projektkurs (Kap. IV.1.1.2) und anschließend für die Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs) (Kap. IV.1.1.3) dargestellt. Sie dienen der Prüfung der Hypothesen H.1.1 und H.1.2 (s. Kap. V.1).

IV.1.1.1 Biologie Leistungskurs

Schulfachinteresse (Pre-Test)

Das Fachinteresse an Biologie war bei den Schülern sehr hoch [$M = 3,81$; $SD = 0,4$; $N = 16$].

Schulfachinteresse (Post-Test)

Das **Interesse am Projektfach (Biologie)** blieb bei 10 Befragten von der Projektteilnahme unbeeinflusst und damit auf gleichem Niveau wie im Pre-Test. Zwei Teilnehmer gaben an, dass ihr Interesse gestiegen ist und einer, dass es gesunken ist.

Begründungen für einen Interessenzuwachs bezogen sich hauptsächlich auf die besondere Art der Instruktion, z. B. die Unterstützung durch die Wissenschaftler oder die Methode der Wissensvermittlung, darunter die selbstständige Arbeit oder die Gruppenarbeiten.

Abnehmendes Interesse wurde von dem Schüler damit begründet, dass bereits vor dem Projekt geringes Interesse bestanden hatte. Dieses geringe Interesse ist dann mit der Projektteilnahme noch weiter gesunken. Außerdem wurde die Interessenabnahme mit dem geringen Interesse am Inhalt begründet: Das Thema „Ökologie“ sei uninteressant.

Das **Interesse an einem anderen Schulfach** hat sich bei 10 Befragten nicht verändert, demgegenüber gaben zwei Befragte eine Veränderung an. Ein Schüler gab einen Interessenanstieg im Fach Chemie an. Der andere Schüler wies ausdrücklich darauf hin, dass sich die Gruppenarbeiten im Projekt insgesamt positiv auf das Interesse an allen Schulfächern ausgewirkt haben.

Berufsinteresse (Pre-Test)

Das Interesse der Schüler an einem naturwissenschaftlichen Beruf war im Mittelwert neutral, dabei war die Gruppe jedoch geteilt [$M = 2,75$; $SD = 1,18$; $N = 16$], wobei sich eine tendenzielle Zustimmung zeigte: Neun Schüler interessierten sich für einen naturwissenschaftlichen Beruf und sieben nicht (s. a. Abb. 16b).

Berufswunsch (Post-Test)

Der Berufswunsch war bei 12 der Befragten von der Projektteilnahme unbeeinflusst geblieben. Bei einem Schüler hatte die Teilnahme einen Einfluss.

Begründungen für „keinen Einfluss“ waren zum einen, dass bereits ein fester Berufswunsch bestanden hatte und zum anderen, dass noch kein Berufswunsch vorhanden war bzw. insgesamt andere Interessen gegeben waren.

Die Begründung des Schülers, dessen Berufswunsch beeinflusst wurde war, dass die wissenschaftliche Arbeit in der Biologie „zu mühselig und wetterabhängig“ (Schülerangabe) sei. Ein wissenschaftlicher Beruf komme trotzdem in Frage, nur nicht im naturwissenschaftlichen Bereich.

IV.1.1.2 Projektkurs

Schulfachinteresse (Pre-Test)

Das Fachinteresse am Projektkurs war bei den Schülern sehr hoch [$M = 3,5$; $SD = 0,65$; $N = 18$].

Schulfachinteresse (Post-Test)

Acht Schüler gaben an, dass sich ihr Fachinteresse am Projektkurs nicht geändert hat; zehn Probanden antworteten, dass sich ihr Interesse vergrößert hat.

Darüber hinaus gaben fünf Schüler an, dass sich ihr Interesse an einem anderen Schulfach, also nicht dem Fach „Projektkurs“, vergrößert hat. Es wurden Biologie und Chemie genannt. Begründungen dafür, dass das Interesse an dem Schulfach, in welches das Projekt eingebunden war, größer geworden war, standen hauptsächlich im Zusammenhang mit Wissen, wobei zwei Bereiche unterschieden werden können:

Zum einen hatte die Methode der Wissensvermittlung bzw. des Wissensaufbaus einen positiven Einfluss auf das Interesse, darunter die Gruppenarbeiten, mit den Präsentationen und die Exkursion.

Zum anderen hatte nach Schülerangaben die Projektzeit und der subjektiv erlebte Wissenszuwachs einen positiven Einfluss auf das Interesse am Fach. Das schließt die Möglichkeit, sich einmal intensiv mit einem Thema zu beschäftigen, also einmal Zeit zum Lernen eines Themengebietes zur Verfügung zu haben, ein und den Wissenszuwachs, in dem ein tieferes Verständnis über den Inhalt erreicht wurde.

Berufsinteresse (Pre-Test)

Das Interesse der Schüler an einem naturwissenschaftlichen Beruf war im Mittelwert neutral, dabei war die Gruppe jedoch auch hier (s. a. Bio-LK) geteilt [$M = 2,4$; $SD = 1,14$; $N = 18$]: Acht Schüler interessierten sich für einen naturwissenschaftlichen Beruf und zwölf Schüler nicht (s. a. Abb. 16b).

Berufswunsch (Post-Test)

Die meisten der Befragten gaben an, dass sich ihr Berufswunsch durch die Projektteilnahme nicht geändert hat (17 $N = 94,4\%$ der Befragten).

Begründungen dafür, dass die Projektteilnahme keinen Einfluss auf den Berufswunsch hatte waren zum einen, dass bereits vor dem Projekt ein fester Berufswunsch gegeben war, der entweder nicht im naturwissenschaftlichen Bereich war (sieben Schüler) oder in einem naturwissenschaftlichen Bereich (ein Schüler). Zum anderen begründeten diese Schüler ihre Angaben damit, dass noch kein Berufswunsch existierte oder im Allgemeinen andere Interessen ohne konkrete Berufswunschäußerungen gegeben waren.

IV.1.1.3 Biologie-Leistungskurs und Projektkurs

Schulfachinteresse (Pre-Test)

Insgesamt war das Interesse an dem Schulfach, in welches das NaT-Working Projekt eingebunden war, sehr hoch [$M= 3,67$; $SD= 0,55$; $N= 30$]. Die Box-Plots (zu Box-Plots, s. Kap. III.4.2.1) der Abb. 15 zeigen geringe Streuungen der Daten, wobei die Zustimmung der Schüler des Bio-LK, abgesehen von einem Extremwert (Extremwert= 3, $N= 3$), maximal war (Median= 4):

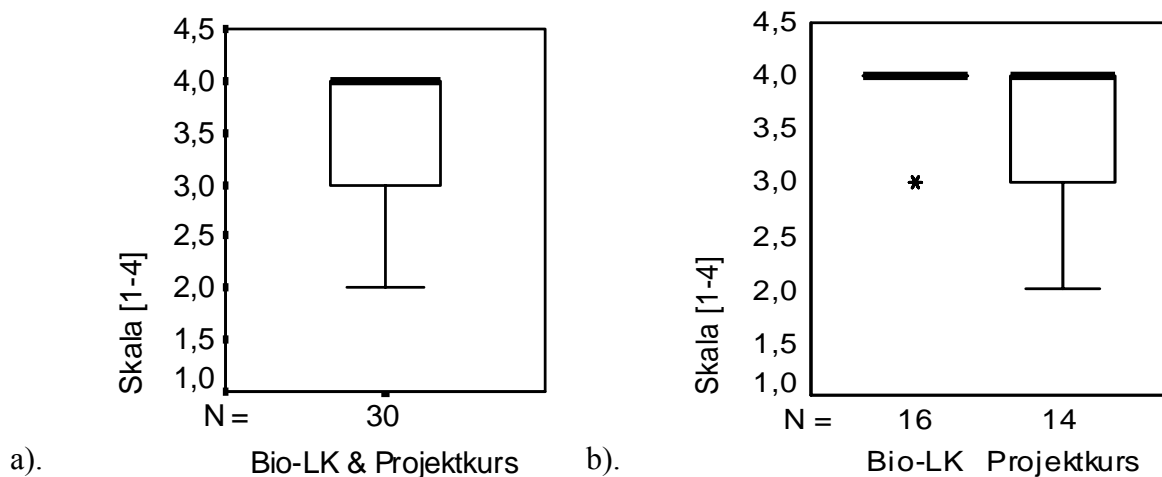


Abb. 15: Schulfachinteresse (Pre-Test)

a). Bio-LK und Projektkurs zusammen ($N= 30$); b). Bio-LK und Projektkurs separat.

Achsen: x-Achse, Stichprobengrößen (N); y-Achse, Skala (1-4⁸³). Boxen, 25%-75%-Quartil; schwarzer Balken, Median. Das Zeichen * symbolisiert einen Extremwert.

Schulfachinteresse (Post-Test)

Trotz hohen Fachinteresses vor dem Projekt gaben 12 von 31 Schülern eine Interessenzunahme mit der Projektteilnahme an. Diese Interessenförderung war zum einen zurückzuführen auf die Art der Wissensvermittlung, die sich von der in der Schule besonders dahingehend unterschied, dass sich die Schüler Wissen selbstständig, mit der Unterstützung von Experten in authentischer Umgebung aneignen konnten und dies zumeist in Gruppenarbeiten. Zum anderen war diese Interessenförderung auf den Wissenszuwachs zurückzuführen, den die Schüler subjektiv erlebten. Die Schüler gaben an, dass sie Wissen aufbauen konnten, das nicht oberflächlich sei, sondern nach eigener Einschätzung zu einem tieferen Verständnis geführt hat.

⁸³ Die Skala wurde aus technischen Gründen auf 4,5 erweitert, damit die Mediane deutlich sichtbar sind. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es den Skalenwert 4,5 nicht gibt.

Berufsinteresse (Pre-Test)

Das Interesse der Schüler an einem naturwissenschaftlichen Beruf war in der Gruppe geteilt. 17 Schüler hatten Interesse an einem naturwissenschaftlichen Beruf und 19 Schüler nicht. Daraus ergab sich ein neutraler Mittelwert mit großer Standardabweichung ($M=2,56$; $SD=1,16$). Die Box-Plots der Abb. 16 zeigen somit auch große Interquartilabstände⁸⁴:

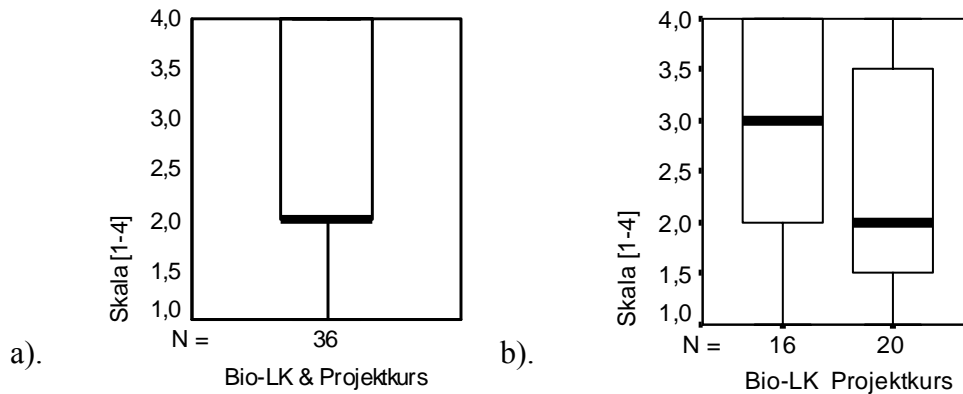


Abb. 16: Berufswunsch (Pre-Test)

a).: Bio-LK und Projektkurs zusammen (N= 36); b).: Bio-LK und Projektkurs separat.

Achsen: x-Achse, Stichprobengrößen (N); y-Achse, Skala (1-4); Box, 25%-75%-Quartil; schwarzer Balken: Median.

Aus der Gegenüberstellung des Bio-LK und des Projektkurses (Abb. 16b) geht hervor, dass die Schüler des Bio-LK, einem Leistungskurs entsprechend und damit erwartungsgemäß, eher zu einem naturwissenschaftlichen Beruf tendierten.

Berufswunsch (Post-Test)

Das Interesse der Schüler an einem naturwissenschaftlichen Berufswunsch vor dem Projekt war in der Gruppe zweigeteilt. Die Projektteilnahme hatte bei zwei Schülern einen Einfluss auf die Berufsorientierung, bei den anderen Schülern jedoch nicht.

Dieser mangelnde Einfluss ist darauf zurückzuführen, dass die Schüler der gymnasialen Oberstufe entweder bereits vor dem Projekt einen festen Berufswunsch hatten oder die Berufsorientierung für die Schüler noch kein Thema war bzw. andere Interessen vorlagen.

⁸⁴ Der Interquartilabstand ergibt sich aus der Differenz zwischen dem 75%igen Perzentil und dem 25%igen Perzentil (der Box). In dem Bereich befinden sich 50% der Testdaten.

IV.1.2 Zusammenfassung

Aus der Interessenuntersuchung lässt sich bis hier Folgendes ableiten:

Mit NaT-Working „Meeresforschung“ ließ sich das Interesse der Schüler an einem naturwissenschaftlichen Schulfach fördern (12 der 31 Schüler gaben einen Interessenanstieg an). Begründungen dafür, dass das Interesse an dem Schulfach, in welches das Projekt eingebunden war, größer wurde, standen hauptsächlich im Zusammenhang mit Wissen, wobei zwei Bereiche unterschieden werden können:

- I. Die Methode der Wissensvermittlung,
- II. der subjektiv erlebte Wissenszuwachs speziell und allgemein.

Die Berufsorientierung der Schüler (Sek II) in Richtung eines naturwissenschaftlichen Berufs ließ sich hingegen mit NaT-Working „Meeresforschung“ nicht bzw. kaum beeinflussen. Die Begründungen dafür, dass das Projekt keinen Einfluss auf dieses Interesse hatte, lassen sich in folgende Kategorien einteilen:

- I. Es bestand bereits vor dem Projekt ein fester Berufswunsch.
- II. Es bestand noch kein Berufswunsch bzw. es lagen insgesamt andere Interessen vor.

IV.1.3 Aktualisiertes individuelles Interesse und Einflussvariablen

Das aktualisierte individuelle Interesse wurde im Post-Test als „durch das Projekt induzierte Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen“ mit sieben Items erhoben (s. Skalendokumentation, Kap. III.4.1) und wird im Folgenden abgekürzt als „Interesse an Projektthemen“ bzw. aktualisiertes individuelles Interesse bezeichnet. Nachdem die Ausprägungen des aktualisierten individuellen Interesses vorgestellt sind (s. Abb. 17), werden die Ergebnisse der Zusammenhangsanalysen zwischen dem aktualisierten individuellen Interesse und möglichen Einflussvariablen dargestellt. Als Einflussvariablen wurden im Pre-Test das individuelle Interesse und das Selbstkonzept untersucht (s. Kap. IV.1.3.1). Im Post-Test wurde die Interessantheit der Lernumgebung analysiert (s. Kap. IV.1.3.2), die als Schülerbewertungen der Projektfaktoren und Schülerinteressen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens erhoben wurde. Entsprechende Korrelationsanalysen dienten zur Prüfung der Hypothesen H.2.1, H.2.2 sowie H.2.3 (s. Kap. V.2).

Aktualisiertes individuelles Interesse (Post-Test)

Abb. 17 stellt die Datenverteilung im Bio-LK und Projektkurs separat (b) sowie in der Gesamtstichprobe (Bio-LK & Projektkurs) (a) dar.

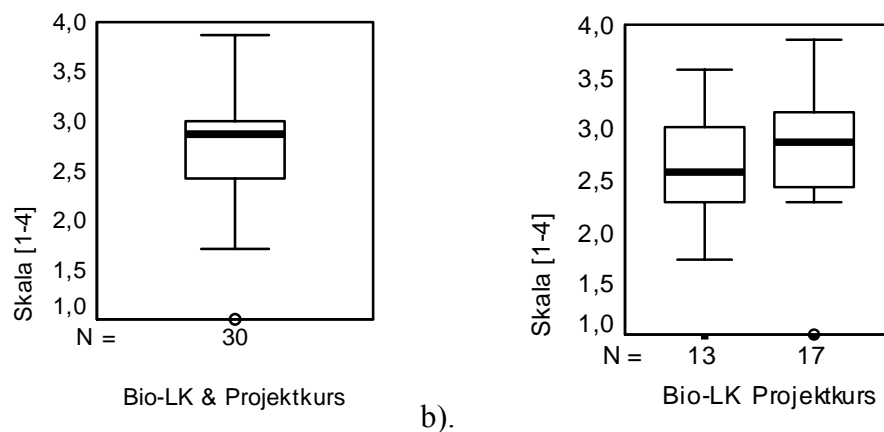


Abb. 17: Aktualisiertes individuelles Interesse (Interesse an Projektthemen, Post-Test)

a).: Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs zusammen: N= 30); b).: Bio-LK und Projektkurs separat. Achsen: x-Achse, Stichprobengrößen (N); y-Achse: Skala (1-4); Box: 25%-75%-Quartil; schwarzer Balken: Median; ° stellt einen Ausreißer dar.

Das aktualisierte individuelle Interesse war in der Gesamtstichprobe mit einem Mittelwert von $M = 2,71$ ($SD = 0,59$) neutral, dabei zeichnet sich eine positive Tendenz ab, die sich in dem Median ($= 2,86$; Interquartilabstand $= 0,61$) widerspiegelt. Das Interesse an Projektthemen war bei den Schülern des Projektkurses etwas höher (Median $= 2,86$; Interquartilabstand $= 0,78$) als bei den Schülern des Bio-LK (Median $= 2,57$; Interquartilabstand $= 0,86$).

IV.1.3.1 Individuelles Interesse und Selbstkonzept (Pre-Test)

Individuelles Interesse

Das individuelle Interesse wurde im Pre-Test als „Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften“ mit fünf Items erhoben (s. Skalendokumentation, Kap. III.4.1) und wird im Folgenden abgekürzt als „Interesse an Naturwissenschaften“ bzw. individuelles Interesse bezeichnet. Die Abb. 18 stellt die Datenverteilung im Bio-LK und Projektkurs separat dar (b) sowie zusammengefasst (a).

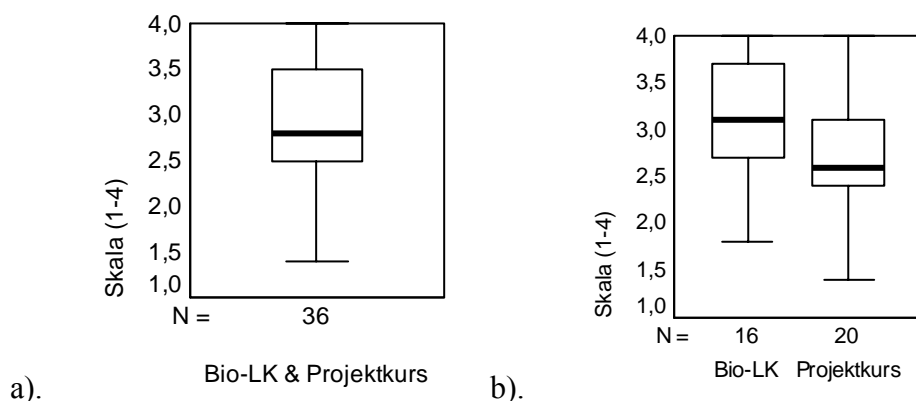


Abb. 18: Individuelles Interesse (Interesse an Naturwissenschaften, Pre-Test)

a).: Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs zusammen) (N= 36);

b).: Bio-LK und Projektkurs separat. X-Achse: Stichprobengrößen (N);

Achsen: x-Achse, Stichprobengröße (N); y-Achse: Skala (1-4); Box: 25%-75%-Quartil; schwarzer Balken: Median.

Das individuelle Interesse war in der Gesamtstichprobe mit einem Mittelwert von $M = 2,89$ ($SD = 0,67$) (Median= 2,8; Interquartilabstand= 1,1) positiv. Bei den Schülern des Projektkurses war es etwas niedriger [Median= 2,6; Interquartilabstand= 0,75) als bei den Schülern des Bio-LK (Median= 3,1; Interquartilabstand= 1,1).

Korrelationsanalyse (zur Prüfung der Hypothese H.2.1)

Das individuelle Interesse zeigt mit dem **aktualisierten individuellen Interesse** in der Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs) - wie in H.2.1 vermutet – eine positive Korrelation⁸⁵: $r = 0.451$, $p = 0.012$, $N = 30$.

⁸⁵ Die Korrelationskoeffizienten in der vorglegten Arbeit sind Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten. Falls der Koeffizient nach Pearson ermittelt wurde, wird das explizit angegeben.

Selbstkonzept im Fach

Das **Selbstkonzept im Fach** wurde im Pre-Test mit acht Items erhoben (s. Skalendokumentation, Kap. III.4.1). Die Abb. 19 stellt die Datenverteilung im Bio-LK und Projektkurs separat dar (b) sowie zusammengefasst (a).

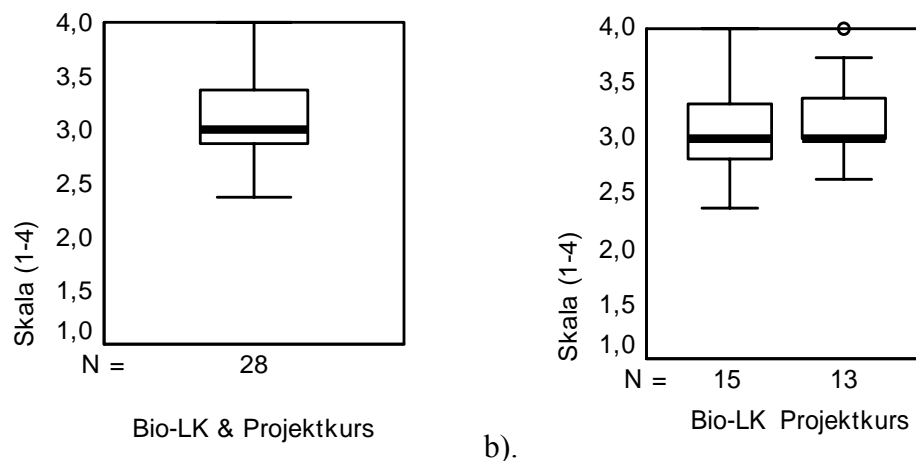


Abb. 19: Selbstkonzept im Fach (Pre-Test)

a).: Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs zusammen, N= 28); b).: Bio-LK und Projektkurs separat. X-Achse: Stichprobengrößen (N). Achsen: x-Achse, Stichprobengröße (N); y-Achse: Skala (1-4); Box: 25%-75%-Quartil; schwarzer Balken: Median; ° stellt einen Ausreißer dar.

Das Selbstkonzept im Fach war in der Gesamtstichprobe mit einem Mittelwert von $M = 3,12$ ($SD = 0,43$) (Median= 3,0; Interquartilabstand= 0,5) positiv. Das Selbstkonzept der Schüler des Projektkurses (Median= 3,0; Interquartilabstand= 0,44) war dem der Schüler des Bio-LK (Median= 3,0; Interquartilabstand= 0,63) relativ ähnlich.

Korrelationsanalysen (zur Prüfung der Hypothesen H.2.2.A und B)

Das Selbstkonzept im Fach stand in der Gesamtstichprobe gemäß H.2.2.A in wechselseitig positiver Beziehung mit dem **individuellen Interesse**, denn die beiden Faktoren korrelieren signifikant miteinander: $r = 0.481$, $p = 0.009$, $N = 28$.

Demgegenüber zeigt sich keine signifikante Korrelation zwischen dem Selbstkonzept im Fach und dem **aktualisierten individuellen Interesse** in der Gesamtstichprobe (vgl. H.2.2.B):

$r = 0.152$, $p = 0.499$, $N = 22$. Das heißt, dass es keinen Zusammenhang zwischen dem Interesse der Schüler an den Projektthemen und ihrem Selbstkonzept im Fach gegeben hat.

IV.1.3.2 Interessantheit der Lernumgebung (Post-Test)

Die Interessantheit der Lernumgebung wurde zum einen über die Schülerbewertungen ausgewählter Projektfaktoren erhoben (s. Kap. IV.1.3.2.A) und zum anderen über die Schülerinteressen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens (s. Kap. IV.1.3.2.B).

IV.1.3.2.A Projektfaktoren

Projektklima:

Das Projektklima wurde im Post-Test mit sieben Items erhoben (s. Skalendokumentation, Kap. III.4.1). Die Abb. 20 stellt in (a) die Datenverteilung in der Gesamtstichprobe dar und in (b) die Datenverteilungen in den Einzelkursen.

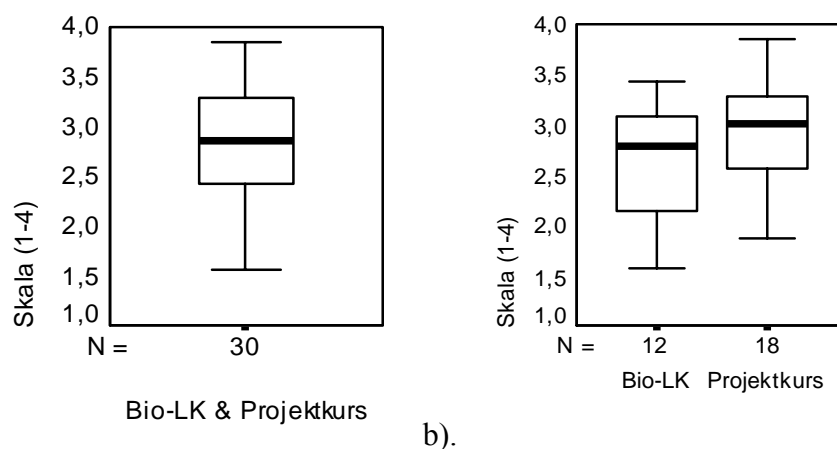


Abb. 20: Projektklima (Post-Test)

a).: Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs zusammen, N= 30); b).: Bio-LK (N= 12) und Projektkurs (N= 18) separat. Achsen: x-Achse, Stichprobengrößen (N); y-Achse, Skala (1-4); Box: 25%-75%-Quartil; schwarzer Balken: Median.

Das Projektklima ist in der Gesamtstichprobe mit einem Mittelwert von $M = 2,85$ ($SD = 0,59$) (Median= 2,86; Interquartilabstand= 0,86) positiv.

Das Projektklima wurde von den Schülern beider Kurse relativ ähnlich eingeschätzt, wobei die Bewertungen im Bio-LK weiter in niedrigere, also negative Bewertungen reichen (s. 25% Perzentil: 2,07; 75% Perzentil: 3,11).

Innere und äußere Kohärenz des Projekts:

Die innere und äußere Kohärenz wurde im Post-Test mit sieben Items erhoben. Es zeigen sich zwei Faktoren⁸⁶ (s. Skalendokumentation, Kap. III.4.1):

- **innere Kohärenz,**
- **äußere Kohärenz.**

Die Abb. 21 stellt die deskriptiven Daten der Gesamtstichprobe (a) und des Biologie- und Projektkurses separat (b) dar.

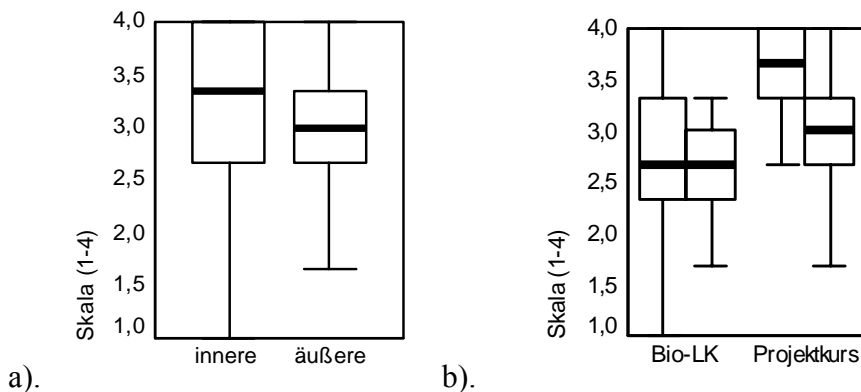


Abb. 21: Innere und äußere Kohärenz (Post-Test)

a).: Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs zusammen, N= 30):

linker Box-Plot: innere Kohärenz; rechter Box-Plot: äußere Kohärenz.

b).: Bio-LK (N= 13) und Projektkurs (N= 17) separat:

jeweils linker Box-Plot: innere Kohärenz; rechter Box-Plot: äußere Kohärenz.

Box: 25%-75%-Quartil; schwarzer Balken: Median.

Die **innere Kohärenz** des Projekts wird in der Gesamtstichprobe (N= 30) etwas höher (M= 3,22; SD= 0,76; Median= 3,33) bewertet als die **äußere Kohärenz** (M= 2,86; SD= 0,64; Median= 3,00) (s. Abb. 21a).

Die Schüler des Biologiekurses bewerteten die innere und äußere Kohärenz relativ ähnlich, wobei die Daten der inneren Kohärenz stärker streuen (s. Spannweite, Abb. 21b, Bio-LK, linker Box-Plot).

Die Schüler des Projektkurses bewerteten die innere und äußere Kohärenz insgesamt deutlich positiver als die Schüler des Biologiekurses und außerdem die innere Kohärenz sehr hoch (s. Abb. 21b). Offenbar erlebten die Schüler des Projektkurses die innere Kohärenz besonders gut, dazu gehört z. B., dass am Anfang des Projekts eine Übersicht erstellt wurde, über die Themen, die im Projekt behandelt wurden.

⁸⁶ Ein Item musste aufgrund zu geringer Trennschärfe entfernt werden (Item Kohä15).

Projektmanagement:

Das Projektmanagement wurde im Post-Test mit acht Items erhoben (s. Skalendokumentation, Kap. III.4.1). Es zeigen sich drei Faktoren:

- (A) Zufriedenheit mit dem Lernmanagement,
- (B) Aktive Beteiligung an Experimenten⁸⁷,
- (C) Lerntempo und Verständnis.

Die Abb. 22 stellt die deskriptiven Daten der Gesamtstichprobe (a) sowie des Bio-LK und Projektkurses separat (b) dar.

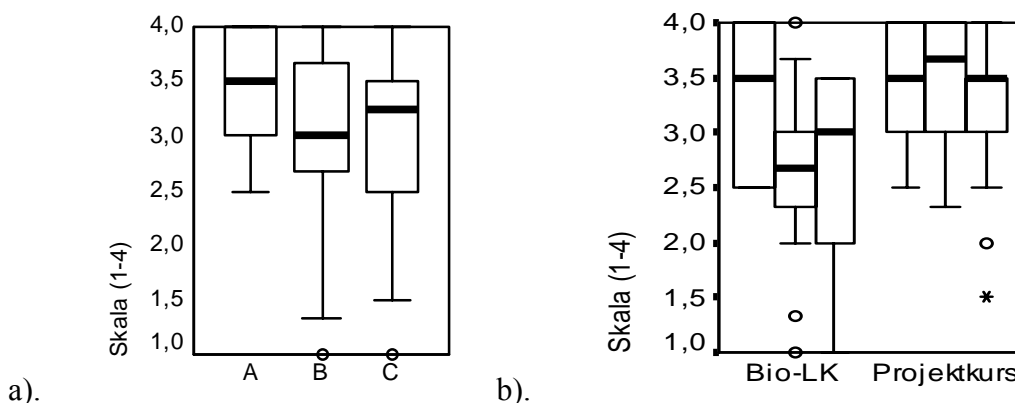


Abb. 22: Projektmanagement (Post-Test)

a).: Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs zusammen, N= 30);

(A) Zufriedenheit, (B) Aktive Beteiligung an Experimenten, (C) Lerntempo und Verständnis.

b).: Bio-LK (N= 13) und Projektkurs (N= 17) separat; Box-Plots jeweils von links nach rechts: Faktoren A, B und C. Box: 25%-75%-Quartil; schwarzer Balken: Median; ° markiert Ausreißer; * markiert einen Extremwert.

Das Projektmanagement wurde in der Gesamtstichprobe positiv bewertet (s. Abb. 22a), denn alle Boxen der Box-und-Whisker-Plots sind oberhalb des Skalenwertes 2,5. Einzelnen betrachtet wurde die Zufriedenheit mit dem Lernmanagement (Faktor A) von den Schülern am höchsten bewertet (Median= 3,5; Interquartilabstand= 1,00; N= 31), hierunter fällt beispielsweise die Zufriedenheit der Schüler über die Möglichkeit im Projekt konzentriert arbeiten zu können. Die beiden anderen Faktoren (B und C) weisen deutlich stärkere Streuungen in den Daten auf. Die Datenverteilung des Faktors B zeigt, dass es auch Schüler gab, die sich gerne aktiver in die Durchführung der Experimente eingebracht hätten, wobei die durchschnittliche Bewertung auch hier positiv war (Median= 3,00; Interquartilabstand= 1,00). Ähnliches gilt für die Datenverteilung des Faktors C, in den z. B. Bewertungen darüber eingeflossen sind, ob die Sprache der Wissenschaftler verstanden wurde bzw. ob zu viele unbekannte Fachbegriffe verwendet wurden. Der Vergleich der beiden untersuchten Kurse (Abb. 22b) zeigt Folgendes: Das Lernmanagement (Faktor A) wurde in beiden Kursen positiv bewertet. Demgegenüber wurde die aktive Beteiligung an Experimenten (Faktor B) im Bio-LK deutlich geringer bewertet. Außerdem finden sich im Bio-LK sowohl Schüler, die mit der Organisation des Lerntempos und dem Erreichen eines Verständnisses (Faktor C) zufrieden waren als auch solche, die damit unzufrieden waren.

⁸⁷ Die Schüler des Projektkurses wurden vor dem Post-Test instruiert Items dieses Faktors (Mana21 & Mana23), in denen es um die Probennahmen und Experimente geht, auf die Arbeiten an dem „Spiel ums Meer“ zu beziehen.

Eingehen auf Schülerfragen und -wünsche:

Das Eingehen auf Schülerfragen und -wünsche wurde im Post-Test mit drei Items erhoben (Details s. Skalendokumentation, Kap. III.4.1). Die Abb. 23 stellt die deskriptiven Daten der Gesamtstichprobe (a) und des Biologiekurses und Projektkurses separat (b) dar.

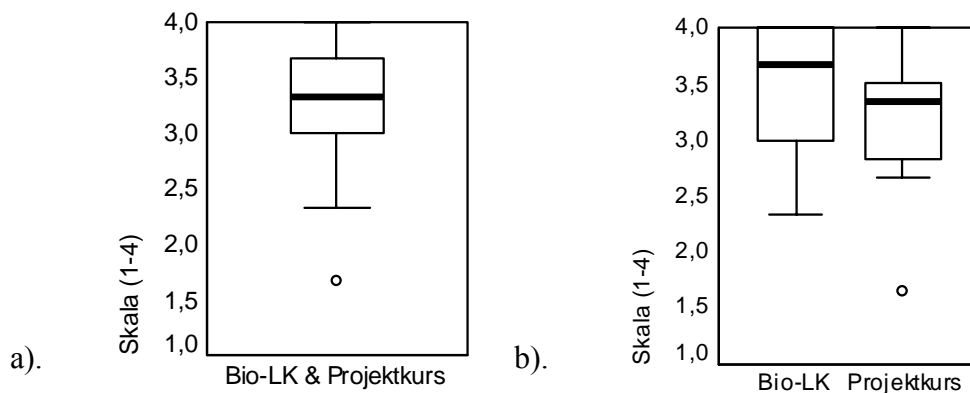


Abb. 23: Eingehen auf Schülerfragen und -wünsche (Post-Test)

a).: Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs zusammen, N= 29);

b).: Bio-LK (N= 13) und Projektkurs (N= 16) separat.

Box: 25%-75%-Quartil; schwarzer Balken: Median; ° kennzeichnet Ausreißer.

Die Möglichkeit für die Schüler Fragen zu stellen bzw. Wünsche zu äußern wurde sehr positiv bewertet (Median= 3,33; Interquartilabstand= 0,66; N= 29), d. h. die meisten Schüler hatten die Gelegenheit sich zu Wort zu melden und auch zwischen Projekttagen ihre Fragen zu klären.

Zusammenfassung

Die Projektfaktoren wurden insgesamt positiv bewertet. Unter den Projektfaktoren erhielten die Zufriedenheit mit dem Lernmanagement (Projektmanagement, Faktor A: Median= 3,5, N= 30) und die Möglichkeit für die Schüler Fragen und Wünsche zu äußern (Median= 3,33, N= 29) höchste Bewertungen.

Auffällige Unterschiede zwischen den untersuchten Kursen finden sich in der inneren und äußeren Kohärenz der Projekte (s. Abb. 21b) sowie in den Bewertungen der aktiven Beteiligung an Experimenten (s. Abb. 22b, Projektmanagement, Faktor B):

Die innere und äußere Kohärenz wurde in dem Bio-LK relativ ähnlich bewertet, nämlich tendenziell positiv, demgegenüber war die Bewertung der Schüler des Projektkurses hierzu sehr positiv. In dem Projektkurs wurden beide Kohärenzbereiche positiv bewertet, dabei wurde die innere Kohärenz sehr hoch bewertet, d. h. dass die Strukturierung des Projekts aus Sicht der Schüler hervorragend erfolgt ist. Ein weiterer Unterschied ist die Bewertung der aktiven Beteiligung an den Experimenten⁸⁸. Die Schüler des Projektkurses bewerteten diesen Projektfaktor deutlich positiver und einheitlicher (s. Abb. 22b) als die Schüler des Bio-LK. Letztere bewerteten diesen Projektfaktor zwar positiv, doch insgesamt niedriger und mit einer größeren Streuung in den Daten. Das zeigt, dass einige Schüler des Bio-LK unzufrieden bezüglich der eigenen Integration in die experimentellen, also praktischen Projektarbeiten, waren.

⁸⁸ Die Schüler des Projektkurses bewerten bei den Items dieses Faktors entsprechend die aktive Beteiligung an der Spielentwicklung.

Korrelationsanalysen

Zur Prüfung eines etwaigen Zusammenhangs zwischen den Interessevariablen und den Projektfaktoren dienten Korrelationsanalysen, deren Ergebnisse in der Tabelle 10 zusammengefasst sind und zur Prüfung der Hypothesen H.2.3.1.A und B herangezogen wurden (s.Kap. V.2.3.1).

Tabelle 10: Korrelationsanalysen zwischen Interessenvariablen und Projektfaktoren

Variablen: Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse) sowie Interesse an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse) und Projektfaktoren (Projektklima, innere und äußere Kohärenz des Projekts, Projektmanagement und Eingehen auf Schülerfragen und Schülerwünsche). Abkürzungen: r, Korrelationskoeffizient; p, zweiseitige Signifikanz; N, Stichprobengröße.

	Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse)	Interesse an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse)
<i>Hypothesenprüfung:</i>	<i>H.2.3.1.B</i>	<i>H.2.3.1.A</i>
Projektklima	r= 0,195 p= 0,301 N= 30	r= 0,544** p= 0,002 N= 29
äußere und innere Kohärenz:		
innere Kohärenz	r= - 0,29 p= 0,114 N= 31	r= 0,040 p= 0,834 N= 30
äußere Kohärenz	r= - 0,014 p= 0,941 N= 30	r= 0,297 p= 0,117 N= 29
Projektmanagement:		
A: Lernzufriedenheit	r= 0,101 p= 0,589 N= 31	r= - 0,046 p= 0,811 N= 30
B: Beteiligung an Experimenten	r= - 0,133 p= 0,483 N= 30	r= 0,223 p= 0,244 N= 29
C: Lerntempo und Verständnis	r= 0,103 p= 0,58 N= 31	r= 0,170 p= 0,369 N= 30
Eingehen auf Schülerfragen und -wünsche	r= 0,399* p= 0,032 N= 29	r= 0,336 p= 0,081 N= 28

Das Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse) steht in wechselseitig positiver Beziehung mit den Bewertungen über das Eingehen auf Schülerfragen und -wünsche, denn diese Faktoren korrelieren signifikant miteinander: $r= 0,399$, $p= 0,032$, $N= 29$.

Das Interesse an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse) steht in wechselseitig positiver Beziehung mit den Bewertungen über das Projektklima, denn diese Faktoren korrelieren signifikant miteinander: $r= 0,544$, $p= 0,002$, $N= 29$.

IV.1.3.2.B Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens

Das Interesse an Handlungsmöglichkeiten im Projekt wurde als das Interesse an naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen im Post-Test erhoben. Das erfolgte in drei Kategorien:

- Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (T I),
- Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (T II) und
- Interesse an instrumentellen Tätigkeiten (T III).

I. Das Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (T I)

Dieses Interesse wurde im Post-Test mit sechs Items erhoben (s. Skalendokumentation, Kap. III.4.1).

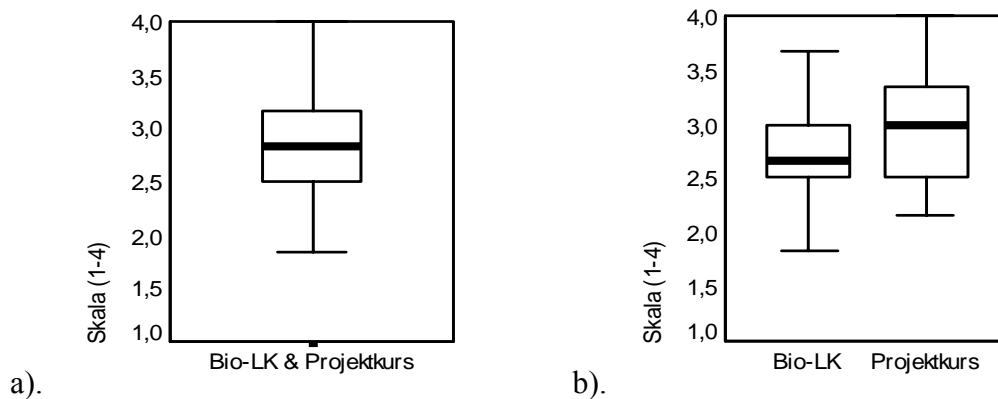


Abb. 24: Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (T I) (Post-Test)

a).: Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs zusammen, N= 31), b).: Bio-LK (N= 13) und Projektkurs (N= 18) separat. Box: 25%-75%-Quartil; schwarzer Balken: Median.

Das Interesse der Schüler an der Beschäftigung mit der Theorie im Projekt war positiv (Median= 2,83; Interquartilabstand= 0,67; N= 31). Hierzu gehörte das Anhören von Vorträgen und Erhalten von Erklärungen durch einen Experten genauso wie das selbstständige Erarbeiten von Fachwissen mit dem damit verbundenen Beschaffen von Informationen.

Im Vergleich mit dem Bio-LK war dieses Interesse im Projektkurs etwas höher (s. Abb. 24b).

II. Das Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (T II)

Dieses Interesse wurde im Post-Test mit neun Items erhoben (s. Skalendokumentation, Kap. III.4.1.4). Die Faktorenanalyse ergab drei Faktoren:

- Interesse an der Hypothesenbildung und -prüfung (T II A),
- Interesse am Planen und Optimieren von Experimenten (T II B) und
- Interesse an der Datenanalyse (T II C).

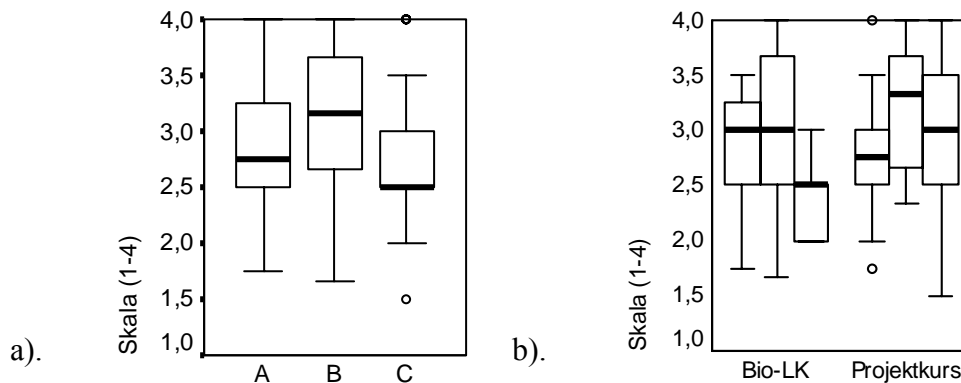


Abb. 25: Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (Post-Test)

a).: Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs zusammen, N= 30):

(A) Interesse an der Hypothesenbildung & -prüfung; (B) Interesse am Planen & Optimieren von Experimenten; (C) Interesse an der Datenanalyse.

b).: Bio-LK (N= 12) und Projektkurs (N= 18) separat; Box-Plots jeweils von links nach rechts: Faktoren A, B und C.

Box: 25%-75%-Quartil; schwarzer Balken: Median; ° kennzeichnen Ausreißer.

Das Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten war positiv, wobei die Daten relativ große Spannweiten zeigen. Das Interesse der Schüler am Planen und Optimieren von Experimenten (T II B) war höher als das Interesse an den beiden anderen Bereichen (T II A und T II C) (s. Abb. 25a).

Das Interesse der Schüler an der Hypothesenbildung und -prüfung (T II A) war tendenziell positiv (Median= 2,75). Das Interesse an der Hypothesenbildung beinhaltet z. B. Interessen am Formulieren neu aufgeworfener Fragen (Item Tii4, s. Kap. III.4.1.4). Das Interesse am Prüfen der Hypothesen beinhaltet z. B. das Interesse am Diskutieren experimentell gewonnener Daten (Item Tii19). Der Vergleich der beiden untersuchten Kurse bezüglich des Interesses an der Hypothesenbildung und -prüfung zeigt ein etwas geringeres Interesse bei den Schülern des Projektkurses (s. Abb. 25b, jeweils erster Box-Plot).

Das Interesse am Planen und Optimieren von Experimenten (T II B) beinhaltet z. B. Interessen am selbstständigen Planen eines Experiments, mit dem eine Forschungsfrage überprüft werden kann (Item Tii10) oder das Umsetzen eigener Ideen in Experimenten (Item Tii17). Dieser Interessenbereich wurde in der Gesamtstichprobe am höchsten eingestuft (Median= 3,13, Interquartilabstand= 1,00) und war in den beiden Kursen ähnlich ausgeprägt.

Das Interesse an der Datenanalyse (T II C) beinhaltet das Interesse am Auswerten experimentell gewonnener Daten (Item Tii15) bzw. das Interesse am Analysieren wissenschaftlicher Daten (Item Tii8). Das Interesse an diesem Bereich wurde in der Gesamtstichprobe am niedrigsten eingestuft (Median= 2,5). Der Vergleich zwischen den beiden Kursen zeigt eine große Diskrepanz: Die Schüler des Bio-LK äußerten sich hierzu neutral bis eher ablehnend

(Median= 2,5; Interquartilabstand= 0,5, s. Abb. 25b, 3. Box), wohingegen die Schüler des Projektkurses deutlich zustimmende Bewertungen abgegeben haben (Median= 3,0; Interquartilabstand= 1,13).

III. Das Interesse an instrumentellen Tätigkeiten (T III)

Dieses Interesse wurde im Post-Test mit fünf Items erhoben (s. Skalendokumentation, Kap. III.4.1). Die Faktorenanalyse ergab zwei Faktoren:

- Interesse am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten (T III A) und
- Interesse am Erstellen und Präsentieren von Modellen (T III B).

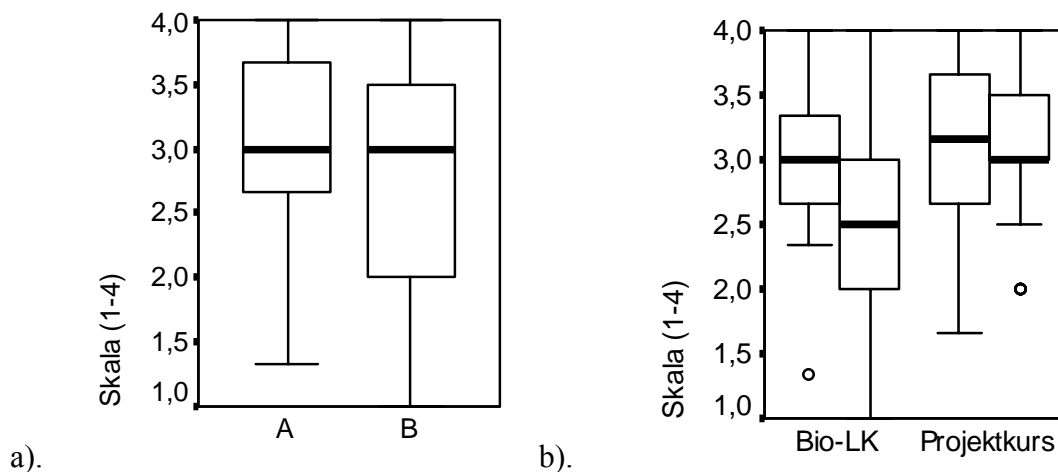


Abb. 26: Interesse an instrumentellen Tätigkeiten (Post-Test)

a).: Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs zusammen, N= 31): (A) Interesse am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten; (B) Interesse am Erstellen und Präsentieren von Modellen.

b).: Bio-LK (N= 13) und Projektkurs (N= 18) separat; Box-Plots jeweils von links nach rechts: (A) Interesse am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten; (B) Interesse am Erstellen und Präsentieren von Modellen.

Box: 25%-75%-Quartil; schwarzer Balken: Median; ° markiert Ausreißer.

Das Interesse der Schüler war in der Gesamtstichprobe ähnlich und hoch (Mediane= 3,00), wobei die Daten stark streuen.

Das Interesse an der Durchführung von Experimenten mit Laborgeräten (T III A) beinhaltet z. B. den Aufbau einer experimentellen Apparatur (Item Tiii2) oder das Arbeiten mit Laborgeräten (Item Tiii11). Das Interesse am Erstellen und Präsentieren von Modellen (T III B) beinhaltet demgegenüber z. B. das Interesse am Herstellen von Modellen oder Ausstellungsmaterialien. Es bezieht sich also auch auf so genannte *hands on* Tätigkeiten, hier jedoch weniger auf die experimentellen, als vielmehr auf die praktisch manuellen Tätigkeiten, die das Ziel haben ein Modell zu erstellen und der Öffentlichkeit zu präsentieren.

Der Vergleich der beiden untersuchten Projekte zeigt insgesamt ein tendenziell höheres Interesse im Projektkurs, dabei ist der Unterschied besonders auffällig in dem Interesse am Erstellen und Präsentieren von Modellen (T III B), das im Projektkurs deutlich höher war und mit einer geringeren Spannweite als im Bio-LK (s. Abb. 26b, jeweils rechter Box-Plot).

Zusammenfassung:

Das Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (T I) war bei den Schülern tendenziell positiv (Median= 2,83) (s. Abb. 24).

Bei dem Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (T II) zeigten sich drei Faktoren, die den Komponenten des kognitiven Modells von Klahr (2000) als Interessenkonstrukt ähneln: (T II A) das Interesse an der Hypothesenbildung und -prüfung, (T II B) das Interesse am Planen und Optimieren von Experimenten und (T II C) das Interesse an der Datenanalyse. Der Faktor T II B, also das Interesse am Planen und Optimieren von Experimenten, war mit den höchsten Interessenäußerungen belegt (s. Abb. 25, Faktor T II B, Median= 3,13). Die untersuchten Schülergruppen unterschieden sich bezüglich der Interessen an der Datenanalyse (T II C), die bei den Schülern des Projektkurses deutlich höher waren (s. Abb. 25b, T II C, Projektkurs: Median= 3,0; Bio-LK: Median= 2,5).

Das Interesse an instrumentellen Tätigkeiten (T III) wurde mit zwei Faktoren erhoben: (T III A) Interesse am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten und (T III B) Interesse am Erstellen und Präsentieren von Modellen. Die Interessenäußerungen waren bezüglich beider Faktoren insgesamt hoch (s. Abb. 26a, Mediane= 3,00). Die untersuchten Schülerprojekte unterschieden sich bezüglich der Interessen am Erstellen und Präsentieren von Modellen (T III B), die bei den Schülern des Bio-LK deutlich geringer ausgeprägt waren (Median= 2,5) als bei den Schülern des Projektkurses (Median= 3,00).

Korrelationsanalysen

Zur Prüfung eines etwaigen Zusammenhangs zwischen den Interessevariablen und den Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens dienten Korrelationsanalysen, die in der Tabelle 11 zusammengefasst sind und zur Prüfung der Hypothesen H.2.3.2.A und B herangezogen wurden (s. Kap. V.3.4.2).

Tabelle 11: Korrelationsanalysen zwischen Interessenvariablen und Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens

Variablen: Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse) sowie Interesse an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse) und Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen (T I: Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie; T II: Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten; T III: Interesse an instrumentellen Tätigkeiten). Abkürzungen: r, Korrelationskoeffizient; p, zweiseitige Signifikanz; N, Stichprobengröße.

	Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse)	Interesse an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse)
<i>Hypothesenprüfung:</i>	<i>H.2.3.2.B</i>	<i>H.2.3.2.A</i>
T I: Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie	r= 0,571** p= 0,001 N= 31	r= 0,635** p= 0,000 N= 30
T II: Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten		
A: Interesse an der Hypothesenbildung und -prüfung	r= 0,488** p= 0,005 N= 31	r= 0,263 p= 0,160 N= 30
B: Interesse am Planen und Optimieren von Experimenten	r= 0,336 p= 0,065 N= 31	r= 0,494** p= 0,006 N= 30
C: Interesse an der Datenanalyse	r= 0,120 p= 0,527 N= 30	r= 0,193 p= 0,317 N= 29
T III: Interesse an instrumentellen Tätigkeiten		
A: Interesse am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten	r= 0,148 p= 0,428 N= 31	r= 0,118 p= 0,533 N= 30
B: Interesse am Erstellen und Präsentieren von Modellen	r= - 0,040 p= 0,832 N= 31	r= 0,275 p= 0,142 N= 30

Das **Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse)** steht in wechselseitig positiver Beziehung mit folgenden Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens:

- Dem Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (T I) und
- dem Faktor A des Interesses an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (T II), also dem Interesse an der Hypothesenbildung und –prüfung (T II A).

Das **Interesse an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse)** steht in wechselseitig positiver Beziehung mit folgenden Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens:

- Dem Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (T I) und
- dem Faktor B des Interesses an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (T II), also dem Interesse am Planen und Optimieren von Experimenten (T II B).

IV.1.3.3 Prüfung von Mediatorvariablen

Eine Mediatorvariable vermittelt den Einfluss einer unabhängigen Variable auf eine abhängige Variable. Das bedeutet, dass der Zusammenhang der unabhängigen und der abhängigen Variable indirekt ist und nur über die Mediatorvariable erfolgt. Eine Variable kann dann eine Mediatorvariable sein, wenn sie sowohl mit der unabhängigen als auch mit der abhängigen Variable signifikant korreliert (s. Kap. III.4.2.3).

Die Prüfung etwaiger Einflussvariablen auf den Zusammenhang zwischen dem individuellen und dem aktualisierten individuellen Interesse hat ergeben, dass das **Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (T I)** diesen Zusammenhang vermittelt.

Folgende Voraussetzungen für eine Mediatorvariable sind erfüllt:

1. Mindestens signifikante Korrelation zwischen dem individuellen und aktualisierten individuellen Interesse ist gegeben: $r = 0,451$, $p = 0,012$, $N = 30$.
2. Mindestens signifikante Korrelation zwischen T I und dem aktualisierten individuellen Interesse ist gegeben: $r = 0,635$, $p = 0,000$, $N = 30$.
3. Mindestens signifikante Korrelation zwischen T I und dem individuellen Interesse ist gegeben: $r = 0,571$, $p = 0,001$, $N = 31$.

Die Regressionsanalyse zwischen T I und dem individuellen Interesse ergab $T = 3,852$ und zwischen dem aktualisierten individuellen Interesse und dem individuellen Interesse $T = 3,044$. Die Regressionsanalyse, in welcher der Einfluss von T I und dem individuellen Interesse auf das aktualisierte individuelle Interesse zusammen geprüft wurde, hat das Ergebnis, dass der Einfluss des individuellen Interesses geringer war als der von T I. Der anschließende **Sobel-Test ergab eine Teststatistik von 2,388 mit einer Signifikanz von $p = 0,017$** dafür, dass T I eine Mediatorvariable für den Zusammenhang zwischen dem individuellen Interesse und dem aktualisierten individuellen Interesse ist.

Das Interesse der Schüler im Projekt an der Beschäftigung mit der Theorie war also sehr bedeutsam für die Entwicklung eines Interesses an den Projektthemen.

IV.1.4 Zusammenfassung

Diese weiteren Untersuchungen über das Interesse der Schüler ergeben Folgendes:

Das **Interesse der Schüler an Projektthemen** (aktualisiertes individuelles Interesse⁸⁹) war umso größer, ...

- je besser das **Projektklima** war,
- je höher das **Interesse am Planen und Optimieren von Experimenten** war,
- je größer das **Interesse an Naturwissenschaften** (individuelles Interesse⁹⁰) vor dem Projekt bereits war,
- je größer das **Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie** im Projekt war,
- je höher das **Selbstkonzept im Fach** war.

Das Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie im Projekt medierte den Zusammenhang zwischen dem individuellen (Interesse an Naturwissenschaften) und aktualisierten individuellen Interesse (Interesse an Projektthemen), d. h. das individuelle Interesse stand indirekt in einem positiven Zusammenhang mit dem aktualisierten individuellen Interesse, da diese wechselseitige Beziehung von dem Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie vermittelt wurde.

In den durchgeführten Korrelationsanalysen konnte zwar kein direkter Zusammenhang zwischen dem Selbstkonzept im Fach und dem aktualisierten individuellen Interesse gezeigt werden, jedoch zwischen dem Selbstkonzept im Fach und dem individuellen Interesse. Da das individuelle Interesse wiederum in einem wechselseitig positiven Zusammenhang mit dem aktualisierten Interesse steht, kann das Selbstkonzept der Schüler den positiven Zusammenhang zwischen dem individuellen und aktualisierten individuellen Interesse der Schüler gestärkt haben⁹¹.

Weiterhin zeigten sich positive Zusammenhänge zwischen dem Interesse an Naturwissenschaften, also dem individuellen Interesse, das die Schüler bereits vor dem Projekt hatten, und der Interessantheit der Lernumgebung, woraus sich Folgendes ableiten lässt:

Je größer das **Interesse der Schüler an Naturwissenschaften** war,

- desto höher bewerteten die **Schüler die Möglichkeit Fragen und Wünsche zu äußern** und
- desto höher war das **Interesse der Schüler an der Hypothesenbildung und -prüfung**.

⁸⁹ Erhoben als das durch das Projekt induzierte Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen (Post-Test).

⁹⁰ Erhoben als das Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften (Pre-Test).

⁹¹ An der Stelle sei betont, dass es sich nicht um eine Mediatorvariable handelt: Das Selbstkonzept vermittelt nicht den Zusammenhang zwischen dem individuellen und aktualisierten individuellen Interesse, sondern steht nur in einer positiv wechselseitigen Beziehung mit dem individuellen Interesse.

IV.2 Wissen

In Projekten, wie NaT-Working „Meeresforschung“, soll mit der Bearbeitung bzw. dem Lernen von ausgewählten Inhalten das Interesse an Naturwissenschaften bei Schülern gefördert werden; deshalb wurden in der vorliegenden Evaluationsstudie das aufgebaute Wissen der Schüler und dessen Zusammenhang mit dem Interesse untersucht. Bei der Analyse des Wissens wurden deklaratives Wissen sowie Fehlkonzepte unterschieden und potenzielle Einflussvariablen auf die Wissensentwicklung untersucht. Zur Wissensdiagnose wurde eine CM-Aufgabe eingesetzt. In der Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs) erfolgte die Wissenserhebung im Zwischentest (MZIP II), also in der Mitte des Projekts. In dem Bio-LK wurde die CM-Aufgabe zusätzlich im Pre-Test (MZIP I) und Post-Test (MZIP III) eingesetzt.

Die Auswertung der CM erfolgte auf zwei Arten:

I. Die CM der Schüler wurden - ohne Referenznetz - grafentheoretisch ausgewertet (s. Kap. IV.2.1).

Diese grafentheoretische Auswertung wurde mit den CM der Schüler des Bio-LK und des Projektkurses durchgeführt, die im Zwischentest erhoben worden waren (s. Kap. IV.2.1). Ziel war zum einen der Vergleich der Wissensqualitäten der beiden Kurse und zum anderen die Aufklärung von Zusammenhängen zwischen dem Wissen der Schüler und ihrem Interesse und Selbstkonzept sowie zwischen dem Wissen der Schüler und der Interessantheit der Lernumgebung. Die Ergebnisse dienten zur Prüfung der Hypothesen H.3.3, H.3.4 sowie H.4 (s. Kap. V.3.1, Kap. V.3.2 und Kap. V.3.4).

II. Die CM der Schüler des Bio-LK wurden zur detaillierten Untersuchung der Wissensentwicklung mithilfe eines Referenznetzes transkribiert und mit dem *Methodenmix* ausgewertet (s. Kap. IV.3).

Hierfür wurden die CM von insgesamt zehn Schülern des Bio-LK verwendet, von denen die Daten der CM-Aufgabe aus allen drei Messzeitpunkten (MZIP I-III) vorlagen⁹². Die Ergebnisse dieser Untersuchung dienten zur Prüfung des Hypothesenkomplexes H.3.1 sowie zur Klärung der explorativen Forschungsfragen 3.2.1 und 3.2.2 (s. Kap. V.4).

Im Folgenden werden die Ergebnisse in der genannten Reihenfolge vorgelegt.

⁹² Der Bio-LK bestand aus 16 Schülern. In die Auswertung konnten nur 10 Schüler aufgenommen werden, da von 10 Schülern alle erhobenen Daten vorlagen (Pre-Test, Zwischentest und Post-Test). Zu diesem Probandenschwund kam es, weil einzelne Probanden an mindestens einem Messzeitpunkt nicht anwesend waren und zudem kein zeitnahe Ersatztermin (1-4 Tage vor oder nach dem Messzeitpunkt) für die Erhebung angesetzt werden konnte

IV.2.1 Wissensaufbau und Einflussvariablen

Das Datenmaterial der Wissenserhebung aus dem Zwischentest wurde für die Untersuchung des Wissensaufbaus (Fakten- und Strukturwissen sowie Fehlkonzepte) und möglicher Einflussvariablen auf diese verschiedenen Wissensqualitäten herangezogen. Dazu wurden die Daten der Gesamtstichprobe (Biologie-LK und Projektkurs, N= 30) genutzt. Faktenwissen wurde mithilfe der Grafenmaße KNO (Knoten) und KAN R (fachwissenschaftlich richtige Kanten) erhoben und Strukturwissen mithilfe der Komplexitätsindices KPX 1 (KAN/ KNO) sowie KPX 3 (KAN R/ KNO). Fehlkonzepte wurden als fachwissenschaftlich falsche Kanten gekennzeichnet (KAN F).

Als Einflussvariablen wurde das Selbstkonzept im Fach (erhoben im Pre-Test) sowie die Projektfaktoren und die Schülerinteressen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens (erhoben im Post-Test) angenommen.

In der Tabelle 12 findet sich eine Zusammenstellung der Daten des fachwissenschaftlich richtigen deklarativen Wissens (Fakten- und Strukturwissen) und der Fehlkonzepte der Gesamtstichprobe. In der Tabelle sind außerdem die Interraterreliabilitäten aufgeführt, die über die Spearman-Rangkorrelationen der Daten zweier unabhängiger Bewerter ermittelt wurden. Sie sind gut bis sehr gut.

Tabelle 12: Grafenmaße der Wissenserhebung (Bio-LK und Projektkurs; Zwischentest)

Grafenmaße für Faktenwissen: KNO s, selbst hinzugefügte Begriffe; KNO g, verwendete vorgegebene Begriffe; KNO, Begriffe gesamt; KAN, Kanten gesamt; KAN R, fachwissenschaftlich richtige Kanten; *Grafenmaß für Fehlkonzepte:* KAN F, fachwissenschaftlich falsche Kanten; *Grafenmaße für Strukturwissen:* KPX 1, Komplexitätsindex 1; KPX 3, Komplexitätsindex 3. Weitere Abkürzungen: M, arithmetischer Mittelwert; N, Stichprobengröße; SD, Standardabweichung; **, zweiseitige Signifikanzen.

	N	Minimum	Maximum	M	SD	Interrater-reliabilität
KNO s	30	0	13,00	3,80	3,89	1,00**
KNO g	30	9,00	14,00	12,77	1,70	1,00**
KNO	30	11,00	27,00	16,70	4,02	0,98**
KAN	30	11,00	43,00	23,90	8,31	0,996**
KAN R	30	7,00	42,00	20,80	7,86	0,975**
KAN F	30	0	11,00	3,10	2,68	0,945**
KPX 1= KAN / KNO	30	0,78	2,53	1,45	0,45	--
KPX 3= KAN R/ KNO	30	0,50	2,17	1,25	0,40	--

Im Folgenden werden die Daten des Bio-LK und des Projektkurses gegenübergestellt.

Die Gegenüberstellung des **Faktenwissens** und der **Fehlkonzepte** erfolgt in Abb. 27.

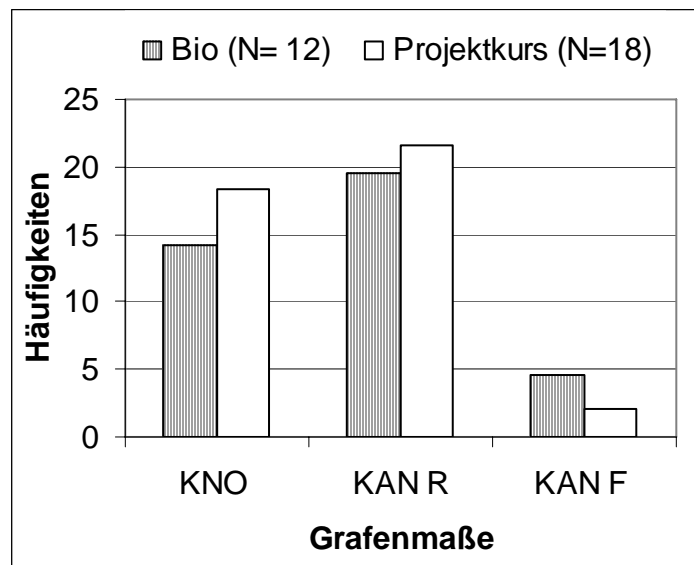


Abb. 27: Faktenwissen (KNO, KAN R) und Fehlkonzepte (KAN F) (Bio-LK und Projektkurs; Zwischentest)

Faktenwissen (KNO, KAN R) und Fehlkonzepte (KAN F) aus dem Zwischentest (MZIP II): Vergleich von Bio-LK (Bio, N= 12) und Projektkurs (N= 18). Abkürzungen: KNO, Begriffe; KAN R, fachwissenschaftlich richtige Kanten; KAN F, fachwissenschaftlich falsche Kanten.

Das Faktenwissen war in dem Projektkurs etwas höher ausgebildet als in dem Bio-LK (s. KNO und KAN R) und die Fehlkonzepte zeigten sich in geringerer Anzahl (s. KAN F).

Das Ergebnis des Vergleichs des **Strukturwissens** ist in Abb. 28 dargestellt.

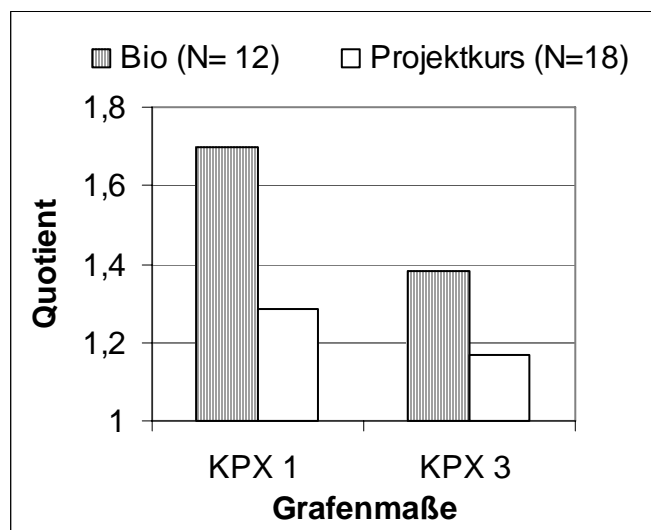


Abb. 28: Strukturwissen (Bio-LK und Projektkurs; Zwischentest)

Strukturwissen (KPX 1 = KAN/ KNO; KPX 3 = KAN R/ KNO) aus dem Zwischentest (MZIP II): Vergleich von Bio-LK (Bio, N= 12) und Projektkurs (N= 18). Abkürzungen: KPX 1, Komplexitätsindex 1 (= KAN/ KNO); KPX 3, Komplexitätsindex 3 (= KAN R/ KNO).

Das Strukturwissen war im Gegensatz zum Faktenwissen bei den Schülern des Bio-LK deutlich höher ausgebildet. Die Schüler des Biologiekurses zeigten zwar insgesamt weniger Begriffe (KNO) und fachwissenschaftlich richtige Verbindungen zwischen den Begriffen (KAN R) als die Schüler des Projektkurses, die Integration der Begriffe war aber bei ihnen deutlich ausgeprägter (s. KPX-Daten).

Die Untersuchung möglicher Einflussvariablen auf das Wissen erfolgte mittels Korrelationsanalysen, deren Ergebnisse im Folgenden zusammengestellt sind.

IV.2.1.1 Selbstkonzept im Fach

Das Selbstkonzept im Fach zeigte sich in einem schwachen Zusammenhang mit dem Wissen (s. Tabelle 13).

Tabelle 13: Korrelationsanalyse zwischen dem Selbstkonzept im Fach und Wissen

Grafenmaße für Faktenwissen: KNO, Begriffe gesamt; KAN R, fachwissenschaftlich richtige Kanten; *Grafenmaß für Fehlkonzepte:* KAN F, fachwissenschaftlich falsche Kanten; *Grafenmaße für Strukturwissen:* KPX 1, Komplexitätsindex 1; KPX 3, Komplexitätsindex 3. Weitere Abkürzungen: N, Stichprobengröße; p, zweiseitige Signifikanz; r, Korrelationskoeffizient; SD, Standardabweichung.

Grafenmaß	Selbstkonzept im Fach		
<i>Hypothesenprüfung:</i>	<i>H.3.3</i>		
KNO	r	=	0,133
	p	=	0,557
	N	=	22
KAN R	r	=	0,378
	p	=	0,083
	N	=	22
KAN F	r	=	- 0,312
	p	=	0,158
	N	=	22
KPX 1 (= KAN / KNO)	r	=	0,143
	p	=	0,526
	N	=	22
KPX 3 (= KAN R / KNO)	r	=	0,229
	p	=	0,306
	N	=	22

Die Korrelationen zwischen dem Selbstkonzept im Fach und dem Wissen sind alle größer als diejenigen, die sich in der Literatur für den Zusammenhang zwischen Selbstkonzept und Leistung finden ($r=0,12$). Allerdings ist keine der Korrelationen zweiseitig signifikant. Wird eine einseitige Signifikanz zwischen dem Selbstkonzept im Fach und dem Wissen vorausgesetzt, so ist die Korrelation zwischen den fachwissenschaftlich richtigen Kanten (KAN R) und dem Selbstkonzept signifikant ($r=0,378$, zweiseitige Signifikanz= 0,083; einseitige Signifikanz= 0,041).

Außerdem erreicht dann die negative Korrelation zwischen den Fehlkzepten (KAN F) und dem Selbstkonzept fast die 5% Signifikanzgrenze ($r = -0,312$, zweiseitige Signifikanz = 0,158, einseitige Signifikanz = 0,079).

Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen unterstreichen einen positiven Zusammenhang zwischen dem Selbstkonzept im Fach und dem Faktenwissen, woraus sich folgender Trend⁹³ ableiten lässt:

- Je größer das Selbstkonzept der Schüler im Fach war, desto mehr fachwissenschaftlich richtige Relationen (KAN R) wurden von ihnen gezogen.
- Je größer das Selbstkonzept der Schüler im Fach war, desto weniger Fehlkzepten (KAN F) wurden von ihnen aufgebaut.

IV.2.1.2 Interessantheit der Lernumgebung

Um die Interessantheit der Lernumgebung zu ermitteln, wurden die Bewertungen der Projektfaktoren und die Interessen an den Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen erhoben.

Einfluss der Projektfaktoren

Als Projektfaktoren wurden das Projektklima, die innere und äußere Kohärenz des Projekts, das Projektmanagement und das Eingehen auf Schülerfragen berücksichtigt. Die Untersuchung der Frage danach, ob die Projektfaktoren Einflussvariablen für den Wissensaufbau sind, zeigt kein eindeutiges Ergebnis bezüglich des Aufbaus von Fakten- und Strukturwissen. So zeigt sich nur eine signifikante Korrelation zwischen der inneren Kohärenz und den Begriffen, die von den vorgegebenen Begriffen verwendet wurden (KNO-gegeben): $r = 0,44$, $p = 0,024$, $N = 26$. Ein deutlicheres Ergebnis zeigt sich jedoch für den Zusammenhang zwischen den Fehlkzepten und den Projektfaktoren, deren Korrelationen in der Tabelle 14 zusammengestellt sind.

⁹³ Da die Korrelationen nicht zweiseitig signifikant sind, kann nur von einem Trend gesprochen werden.

Tabelle 14: Korrelationsanalyse zwischen den Fehlkonzepten und den Projektfaktoren

Fehlkonzepte: KAN F; *Projektfaktoren:* s. linke Spalte; *Abkürzungen:* N, Stichprobengröße; p, zweiseitige Signifikanz; r, Korrelationskoeffizient.

Projektfaktor	KAN F		
<i>Hypothesenprüfung:</i>	<i>H.3.4.2</i>		
Projektklima	r	=	- 0,254
	p	=	0,220
	N	=	25
innere Kohärenz	r	=	- 0,288
	p	=	0,153
	N	=	26
äußere Kohärenz	r	=	- 0,356
	p	=	0,081
	N	=	25
Projektmanagement:			
A: Zufriedenheit mit der Lernorganisation	r	=	- 0,361
	p	=	0,070
	N	=	26
B: aktive Beteiligung an Experimenten	r	=	- 0,239
	p	=	0,251
	N	=	25
C: Lerntempo und Verständnis	r	=	- 0,509**
	p	=	0,008
	N	=	26
Eingehen auf Schülerfragen und -wünsche	r	=	- 0,487*
	p	=	0,016
	N	=	24

Aus diesen Korrelationen lässt sich Folgendes ableiten:

- Je günstiger das Lerntempo und je besser das Verständnis aus Sicht der Schüler war, desto weniger Fehlkonzepte zeigten sich in ihrem aufgebauten Wissen.
- Je besser im Projekt auf Schülerfragen und –wünsche eingegangen wurde, desto weniger Fehlkonzepte zeigten sich im Wissen der Schüler.

Ein Zusammenhang zwischen den Projektfaktoren und dem aufgebauten Fakten- und Strukturwissen zeigt sich nur für die innere Kohärenz des Projekts. Insgesamt lassen die Korrelationen den Schluss zu, dass die Gestaltung des Projekts im direkten Zusammenhang mit der Entwicklung der Fehlkonzepte gestanden hat und zwar in einem negativen Zusammenhang.

Interesse an Tätigkeiten des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens

Das Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens wurde in drei Kategorien erhoben:

- Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (T I),
- Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (T II),
- Interesse an instrumentellen Tätigkeiten (T III).

Zur Aufklärung der Frage danach, ob diese Interessen an Handlungsmöglichkeiten im Projekt potenzielle Einflussvariablen für den Wissensaufbau sind, dienten wieder Korrelationsanalysen.

(T I) Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie

In der Tabelle 15 sind die Daten der Korrelationsanalyse zwischen dem Interesse der Schüler an der Beschäftigung mit der Theorie (T I) zusammengefasst.

Tabelle 15: Korrelationsanalyse zwischen dem Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (TI) und Wissen

Grafenmaße für Faktenwissen: KNO, Begriffe gesamt; KAN R, fachwissenschaftlich richtige Kanten; *Grafenmaß für Fehlkonzepte:* KAN F, fachwissenschaftlich falsche Kanten. Abkürzungen: N, Stichprobengröße; p, zweiseitige Signifikanz; r, Korrelationskoeffizient.

Grafenmaß	T I		
<i>Hypothesenprüfung:</i>	<i>H.3.4.2</i>		
KNO	R	=	0,325
	p	=	0,105
	N	=	26
KAN R	r	=	0,300
	p	=	0,136
	N	=	26
KAN F	r	=	- 0,272
	p	=	0,179
	N	=	26

Aus diesen Daten lässt sich folgender Trend ableiten:

Je größer das Interesse der Schüler an der Beschäftigung mit der Theorie im Projekt war,

- desto mehr Begriffe lernten sie (KNO),
- desto mehr fachwissenschaftlich richtige Relationen zogen sie (KAN R),
- desto weniger Fehlkonzepte zeigten sie (KAN F).

(T II) Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten

Zwei Faktoren dieser Kategorie standen im Zusammenhang mit dem Wissen der Schüler: Das Interesse an der Hypothesenbildung und -prüfung (T II A) und das Interesse an der Datenanalyse (T II C). Ein Zusammenhang zwischen dem Interesse am Planen und Optimieren von Experimenten (T II B) und dem Wissen zeigt sich nicht (s. Tabelle 16; vergl. Tabelle 11).

Tabelle 16: Korrelationsanalyse zwischen dem Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (T II) und Wissen

Grafenmaße für Faktenwissen: KNO, Begriffe gesamt; KAN R, fachwissenschaftlich richtige Kanten; *Grafenmaß für Strukturwissen:* KPX 3 = KAN R / KNO. Abkürzungen: N, Stichprobengröße; p, zweiseitige Signifikanz; r, Korrelationskoeffizient.

Grafenmaß		(T II A) Hypothesenbildung und -prüfung	(T II B) Planen und Optimieren von Experimenten	(T II C) Datenanalyse
<i>Hypothesenprüfung:</i>		<i>H.3.4.2</i>	<i>H.3.4.2</i>	<i>H.3.4.2</i>
KNO	r:	- 0,048	- 0,132	0,247
	p:	0,815	0,510	0,225
	N:	26	26	26
KAN R	r:	0,320	0,060	0,352
	p:	0,111	0,770	0,078
	N:	26	26	26
KPX 3	r:	0,317	0,170	0,138
	p:	0,115	0,405	0,502
	N:	26	26	26

Die beiden Interessenbereiche, die mit den Faktoren (T II A) und (T II C) erhoben wurden, stehen in einem wechselseitigen Zusammenhang mit der Herstellung von Verbindungen zwischen den Wissenselementen (KAN R). Das Interesse an der Hypothesenbildung und Hypothesenprüfung (T II A) korreliert ebenfalls mit der Integration dieses Wissens (KPX 3). Ein schwacher Zusammenhang zeigt sich ferner zwischen dem Interesse an der Datenanalyse (T II C) und den Wissenselementen (KNO), also den Begriffen. Die Korrelationen sind allerdings nicht zweiseitig signifikant. Deshalb lässt sich nur folgender Trend ableiten:

- Je größer das Interesse der Schüler an der Hypothesenbildung und -prüfung war, desto höher war das Fakten- und Strukturwissen.
- Je höher das Interesse der Schüler an der Datenanalyse war, desto höher war das Faktenwissen.

(T III) Das Interesse an instrumentellen Tätigkeiten im Projekt

Diese Interessenkategorie weist zwei Faktoren auf: Das Interesse am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten (T III A) und das Interesse am Erstellen und Präsentieren von Modellen (T III B).

Die Korrelationen zwischen dem Wissen und dem Interesse am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten (T III A), also den *hands on* Tätigkeiten im Projekt, sind, wenn auch nicht zweiseitig signifikant, negativ (s. Tabelle 17).

Die Korrelationen zwischen dem Wissen und dem Interesse am Erstellen und Präsentieren von Modellen (T III B) sind nur marginal, was darauf hindeutet, dass es sich hierbei um keine Einflussvariable für den Wissensaufbau handelt (s. Tabelle 17).

Tabelle 17: Korrelationsanalyse zwischen dem Interesse an instrumentellen Tätigkeiten (T III) und Wissen

Grafenmaße für Faktenwissen: KNO, Begriffe gesamt; KAN R, fachwissenschaftlich richtige Kanten; *Grafenmaß für Fehlkonzepte:* KAN F; Abkürzungen: N, Stichprobengröße; p, zweiseitige Signifikanz; r, Korrelationskoeffizient; T III A, Interesse am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten; T III B, Interesse am Erstellen und Präsentieren von Modellen.

Grafenmaß		(T III A) Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten	(T III B) Erstellen und Präsentieren von Modellen
<i>Hypothesenprüfung:</i>		<i>H.3.4.2</i>	<i>H.3.4.2</i>
KNO	r:	- 0,384	0,121
	p:	0,052	0,556
	N:	26	26
KAN R	r:	- 0,142	0,064
	p:	0,489	0,758
	N:	26	26
KAN F	r:	- 0,306	- 0,132
	p:	0,129	0,521
	N:	26	26

Der Faktor (T III A) ist nicht nur mit dem Wissenserwerb (Faktenwissen) sondern auch mit den Fehlkonzepten negativ korreliert. Der Zusammenhang zwischen den Wissenselementen (KNO) und dem Interesse ist fast zweiseitig signifikant ($p=0,052$), wonach sich folgender Trend abzeichnet:

Je größer das Interesse der Schüler am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten war,

- desto weniger Begriffe wurden in die Wissensstruktur eingebaut und
- desto weniger Fehlkonzepte zeigten sich in den Wissensstrukturen der Schüler.

Es wurde weiterhin geprüft, ob es sich bei diesem Ergebnis um einen Gruppeneffekt handelt. Denkbar wäre, dass nur die Schüler des Projektkurses, die nicht experimentell mit Laborgeräten gearbeitet haben, einen negativen Zusammenhang zwischen KNO und KAN R

auf der einen Seite und (T III A) auf der anderen Seite zeigen und dieser so stark ist, dass er einen etwaigen positiven Zusammenhang bei den Schülern des Bio-LK überlagert.

Die Prüfung der Korrelationen in den Einzelstichproben ergab jedoch, dass es sich nicht um einen Deckeneffekt handelt, denn die Korrelationen beider Stichproben sind negativ (s. Tabelle 18).

Tabelle 18: Korrelationsanalyse zwischen dem Interesse am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten (T III A) und Wissen in dem Bio-LK und Projektkurs einzeln untersucht

Grafenmaße für Faktenwissen: KNO, Begriffe gesamt; KAN R, fachwissenschaftlich richtige Kanten;
Grafenmaß für Fehlkonzepte: KAN F; Abkürzungen: N, Stichprobengröße; p, zweiseitige Signifikanz; r, Korrelationskoeffizient.

Grafenmaß	T III A: Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten	
	Bio-LK	Projektkurs
KNO	r: - 0,512	- 0,390
	p: 0,130	0,135
	N: 10	16
KAN R	r: - 0,143	- 0,153
	p: 0,693	0,571
	N: 10	16
KAN F	r: - 0,537	- 0,235
	p: 0,109	0,381
	N: 10	16

IV.2.1.3 Zusammenhang zwischen Wissen und Interesse an Naturwissenschaften sowie Interesse an Projektthemen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen dem aufgebauten Wissen und dem individuellen Interesse bzw. dem aktualisierten individuellen Interesse vorgestellt, der in den Hypothesen H.4.A bzw. B postuliert wird (s. Kap. V.3.1). Aus den Daten der Korrelationsanalysen geht hervor, dass keine der untersuchten Interessenvariablen signifikant mit einem der Grafenmaße, also mit dem aufgebauten Wissen, korreliert (s. Tabelle 19).

Tabelle 19: Korrelationsanalyse zwischen Wissen und den Interessen an Naturwissenschaften sowie den Interessen an Projektthemen

Faktenwissen: KNO, Begriffe; KAN R, fachwissenschaftlich richtige Kanten; *Fehlkonzepte:* KAN F; *Strukturwissen:* KPX 1= KAN / KNO; KPX 3 = KAN R / KNO. Abkürzungen: N, Stichprobengröße; p, zweiseitige Signifikanz; r, Korrelationskoeffizient.

Grafenmaß		Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse)	Interesse an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse)
<i>Hypothesenprüfung:</i>		<i>H.4.A</i>	<i>H.4.B</i>
KNO	r:	- 0,157	0,194
	p:	0,409	0,353
	N:	30	25
KAN R	r:	0,132	0,129
	p:	0,485	0,540
	N:	30	25
KAN F	r:	- 0,117	- 0,165
	p:	0,537	0,430
	N:	30	25
KPX 1	r:	0,216	-0,067
	p:	0,252	0,752
	N:	30	25
KPX 3	r:	0,232	0,047
	p:	0,216	0,824
	N:	30	25

Der Zusammenhang zwischen dem Interesse an Naturwissenschaften (Pre-Test) und den Komplexitätsindices ist mit $r = 0,216$ (KPX 1) bzw. $r = 0,232$ (KPX 3) niedrig und nicht signifikant, es lässt sich allenfalls folgender Trend ableiten:

- Je größer das individuelle Interesse der Schüler an Naturwissenschaften war, desto integrierter war die aufgebaute Wissensstruktur.

Die Korrelationen zwischen dem Interesse an Projektthemen, also dem aktualisierten individuellen Interesse (s. Hypothese 4.B), und den Grafenmaßen sind derart gering, dass auf keinen Zusammenhang geschlossen werden kann ($r = \pm 0,047 - 0,194$)⁹⁴.

⁹⁴ Auch die Ansicht der entsprechenden Streudiagramme zeigt keinen weiteren interpretierbaren Zusammenhang zwischen den Variablen.

IV.2.2 Zusammenfassung

Die untersuchten Schülergruppen (Bio-LK und Projektkurs) unterscheiden sich in ihren Wissensausprägungen darin, dass die Schüler des Projektkurses zwar ein höheres Faktenwissen hatten, die Schüler des Bio-LK ihr Wissen jedoch stärker integrierten (s. Abb. 27 und Abb. 28).

Das Selbstkonzept der Schüler im Fach zeigte sich als bedeutsam für die Entwicklung von Faktenwissen und ferner für die Vermeidung von Fehlkonzepten (s. Tabelle 13). Zur Vermeidung von Fehlkonzepten trugen weiterhin die Projektfaktoren bei. Es zeigte sich, dass die Gestaltung der Lernumgebung in einem negativen Zusammenhang mit den Fehlkonzepten gestanden hat (s. Tabelle 14). Demgegenüber zeigte sich kein eindeutiger Zusammenhang mit dem Wissensaufbau, also mit dem aufgebauten Fakten- und Strukturwissen. Für den Aufbau von Faktenwissen kann vielmehr das Interesse der Schüler an der Beschäftigung mit der Theorie im Projekt (T I) bedeutsam gewesen sein (s. Tabelle 15) sowie das Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (T II) (s. Tabelle 16). Unter den theoretisch konstruktiven Tätigkeiten können für das Faktenwissen sowohl das Interesse an der Datenanalyse (T II C) eine Rolle gespielt haben als auch das Interesse an der Hypothesenbildung und Hypothesenprüfung (T II A). Letzteres stand außerdem in einem positiven Zusammenhang mit dem Grad der Integration des Wissens und kann somit für den Aufbau von Strukturwissen bedeutsam gewesen sein. Das Interesse an instrumentellen Tätigkeiten (T III), speziell das Interesse der Schüler am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten (T III A) stand in einem negativen Zusammenhang sowohl mit dem Faktenwissen als auch mit den Fehlkonzepten (s. Tabelle 17).

Die Korrelationsanalysen zwischen Interesse (individuellem und aktualisiertem individuellen Interesse) und Wissen zeigten einen Trend, in dem das individuelle Interesse, also das Interesse der Schüler an Naturwissenschaften, in einem positiven Zusammenhang mit dem im Projekt aufgebauten Strukturwissen gestanden hat (s. Tabelle 19). Ein Zusammenhang zwischen dem Interesse an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse) und dem Wissen zeigte sich jedoch nicht.

IV.3 Wissensentwicklung in einer Domäne

Zur Untersuchung der Entwicklung des Wissens über das Nahrungsnetz des Ökosystems Ostsee wurden die CM auf der Basis eines Referenznetzes transkribiert. Hierbei wurden nur solche Kanten in die transkribierten CM aufgenommen, die sich inhaltlich in dem Referenznetz wiedergefunden haben bzw. in einem inhaltlichen Bezug dazu gestanden haben. In die Auswertung auf der Basis des Referenznetzes wurden CM des Bio-LK aufgenommen ($N=10^{95}$). Die Analyse begann mit der Transkription der CM. Daran schloss sich die Auswertung mit dem Methodenmix (s. Kap. IV.3.2 und Kap. IV.3.4) an. Der Methodenmix setzt sich zusammen aus quantitativen⁹⁶ und qualitativen⁹⁷ Auswertungen.

IV.3.1 Transkription der Concept Maps

Im Folgenden wird exemplarisch eine vollständige Transkription eines Datensatzes dargestellt (zufällige Auswahl des Schülers mit dem Code „ANHE“). Die Transkription erfolgte nach der Anleitung, die in Kap. III.4.4.3.A vorgelegt ist.

Ein Datensatz eines Schülers setzt sich aus drei CM zusammen, eines aus dem Pre-Test (MZP I), eines aus dem Zwischentest (MZP II) und eines aus dem Post-Test (MZP III). Diese CM sind die Originaldaten. Die Transkription dieser Originaldaten des Schülers erfolgte zunächst mit allen drei CM zusammen. Mithilfe der Schritte 1 und 2 der Transkription (s. Kap. III.4.4.3.A) wurden alle Kanten (Relationen) und Knoten (Begriffe) der Originaldaten zusammengestellt und nach Möglichkeit zusammengefasst. Die Messzeitpunkte, in denen die jeweiligen Kanten und Knoten in dem CM vorgekommen sind, wurden als römische Ziffern vermerkt (I, MZP I; II, MZP II; III, MZP III). Als Nächstes wurden die transkribierten CM der jeweiligen MZP mithilfe einer Software⁹⁸ erstellt (s. Schritt 3, Kap. III.4.4.3.A).

Für die Nachvollziehbarkeit der Auswertungen sind die Transkripte zwingend erforderlich. Deshalb sind alle Transkripte in alphabetischer Reihenfolge der Schülercodes im Anhang beigelegt (s. Kap. VII.6.1).

⁹⁵ Der Bio-LK bestand aus 16 Schülern. In die Auswertung konnten nur 10 Schüler aufgenommen werden, da von 10 Schülern alle erhobenen Daten vorlagen (Pre-Test, Zwischentest und Post-Test). Zu diesem Probandenschwund kam es, weil einzelne Probanden an mindestens einem Messzeitpunkt nicht anwesend waren und zudem kein zeitnaher Ersatztermin (1-4 Tage vor oder nach dem Messzeitpunkt) für die Erhebung angesetzt werden konnte.

⁹⁶ Zu den quantitativen Auswertungen gehören die grafentheoretischen Auswertungen und die Ermittlung des individuellen Summenscores.

⁹⁷ Zu den qualitativen Auswertungen gehört die Erfassung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte und der fachwissenschaftlich falschen Inhalte, die sich in den CM finden.

⁹⁸ Software: Mannheimer Netzwerk Elaborations Technik MaNET Version 1.5.0

Schritt 1:

Auflistung aller Relationen der Concept Maps (CM) der Messzeitpunkte (I-III) (ANHE)

Alle Relationen (Kanten) der CM wurden in Sätze ausformuliert und in einer Liste zusammengestellt. In dieser Liste (s. unten) sind die MZP am Ende der Sätze mit römischen Ziffern (I.-III.) dokumentiert und falsche Kanten mit einem „F“ gekennzeichnet. Die Begriffe (Knoten) der CM sind fett gedruckt.

CO₂ (2x)⁹⁹ gelangt in die Atmosphäre. I
CO₂ wird [aus dem Wasserkörper] an die **Atmosphäre** abgegeben. III
Fische sterben [und werden zu] **Sediment**. I, II, III
Zooplankton stirbt [und wird zu] **Sediment**. I, II, III
Phytoplankton stirbt [und wird zu] **Sediment**. I, II, III
[Durch] **Zersetzung** [von Sediment] entsteht **CO₂**. I
Abbau von **Sediment** [ist] **Zersetzung**. I
Bakterien [sind] vorhanden im Sediment [und sind beteiligt an der] Zersetzung von **Sediment**. I, III
Bakterien sind beteiligt bei der Zersetzung von **Fischen**. II
Bakterien sind beteiligt bei Zersetzung von **Phytoplankton**. II
Phytoplankton braucht **Licht**. I, II, III
Zooplankton braucht **Licht**. I, II, III
Fische brauchen **Licht**. I, II, III
O₂ [ist] im **Wasser** vorhanden. I
Phytoplankton betreibt **Fotosynthese**. II
Phytoplankton gibt **O₂** ab. III
Phytoplankton braucht **O₂** zum Leben. III
Phytoplankton nimmt **CO₂** auf. III
Bakterien [haben einen] Bedarf an **O₂**. I
Zooplankton [hat einen] Bedarf an **O₂**. I, III
Phytoplankton betreibt **Zellatmung**. II
Zooplankton betreibt **Zellatmung**. II
Fische [haben einen] Bedarf an **O₂**. I, III
Fische betreiben **Zellatmung**. II
Zooplankton stößt **CO₂** aus. I, II, III
Fische stoßen **CO₂** aus. I, II, III
Phytoplankton stößt **CO₂** aus. III
Zooplankton ernährt sich von **Phytoplankton**. II, III
Fische ernähren sich von **Zooplankton**. II, III
Zooplankton lebt oberhalb der **Sprungschicht**. II
Phytoplankton lebt oberhalb der **Sprungschicht**. II
Wasser aus Flüssen (salzarm) [ist] oberhalb der **Sprungschicht**. II
„**Schweres**“ **Ostseewasser (salzreich)** [ist] unterhalb der **Sprungschicht**. II
Der **Salzgehalt** kann unterhalb der **Sprungschicht** zunehmen. II
Licht [ist] hauptsächlich oberhalb der **Pyknokline**. III
Zooplankton lebt hauptsächlich oberhalb der **Pyknokline**. III
Phytoplankton lebt hauptsächlich oberhalb der **Pyknokline**. III

Fachwissenschaftlich falsche Relationen (Kanten):

[Am/ aus] **Sediment** entstehen **organ. N-Verbindungen**. F¹⁰⁰ I
Organ. N-Verbindungen entstehen [mithilfe von Bakterien] aus **Sediment**. F II

⁹⁹ „2x“ bedeutet, dass der Knoten (Begriff) CO₂ hier zwei Mal vorkommt.

¹⁰⁰ Diese Relation wurde als fachwissenschaftlich falsch gewertet, weil der Proband nicht verstanden hat, dass hauptsächlich die Lebewesen des Phytoplanktons organ. N-Verbindungen aufbauen.

Organ. N-Verbindungen entstehen am **Boden**. F III
Organ. N-Verbindungen [entstehen] mithilfe von **Bakterien** aus [Sediment]. F¹⁰¹ II
Bakterien [sind] vorhanden im **Phytoplankton**. F¹⁰² I
Bakterien [sind] vorhanden im **Zooplankton**. F I
Phytoplankton [hat einen] Bedarf an **O₂**. F¹⁰³ I
Phytoplankton nimmt **O₂** auf. F¹⁰⁴ II
Phytoplankton stößt **CO₂** aus. F¹⁰⁵ I, II
Phytoplankton ernährt sich von **Bakterien**. F II
Fische nehmen **O₂** [aus Atmosphäre] auf. F¹⁰⁶ II
Zooplankton nimmt **O₂** [aus Atmosphäre] auf. F II
Fische leben hauptsächlich oberhalb der **Pyknokline**. F III

Schritt 2:

Referenznetz basierte Auswahl von Relationen (ANHE)

Folgende Relationen wurden nicht ausgewählt, weil sie inhaltlich nicht im Referenznetz vorkommen:

Zooplankton lebt oberhalb der Sprungschicht.
Phytoplankton lebt oberhalb der Sprungschicht.
Wasser aus Flüssen (salzarm) [ist] oberhalb der Sprungschicht.
„Schweres“ Ostseewasser (salzreich) [ist] unterhalb der Sprungschicht.
Der Salzgehalt kann unterhalb der Sprungschicht zunehmen.
Licht [ist] hauptsächlich oberhalb der Pyknokline.
Zooplankton lebt hauptsächlich oberhalb der Pyknokline.
Phytoplankton lebt hauptsächlich oberhalb der Pyknokline.
Fische leben hauptsächlich oberhalb der Pyknokline.

Schritt 2.1: Zusammenfassung von Relationen (ANHE)

- **CO₂** (2x) gelangt in die Atmosphäre.
- **CO₂** wird [aus dem Wasserkörper] an die **Atmosphäre** abgegeben.

Zusammenfassung: **CO₂** (2x) gelangt [aus dem Wasserkörper] in die Atmosphäre.

- [Am/ Aus] **Sediment** entstehen **organ. N-Verbindungen**.
- **organ. N-Verbindungen** entstehen [mithilfe von Bakterien] aus **Sediment**.
- **Organ. N-Verbindungen** entstehen am **Boden**.

Die Begriffe **Sediment** und **Boden** werden synonym verwendet, somit wird nur **Sediment** verwendet (vergl. Referenznetz, synonyme Begriffe, s. S. 92).

¹⁰¹ s. Fußnote 100.

¹⁰² Hier wurde interpretiert, dass der Proband Cyanobakterien nicht kennt, weil er ebenfalls angegeben hat, dass das Zooplankton Bakterien enthält.

¹⁰³ Das wurde als fachwissenschaftlich falsch gewertet, weil der Proband die fotosynthetische Sauerstoffproduktion nicht dargestellt hat.

¹⁰⁴ s. Fußnote 103.

¹⁰⁵ Das wurde als fachwissenschaftlich falsch gewertet, weil der Proband die fotosynthetische CO₂-Aufnahme nicht dargestellt hat.

¹⁰⁶ Die Relation wurde als fachwissenschaftlich falsch gewertet, da Fische den Sauerstoff aus dem Wasser aufnehmen und nicht aus der Atmosphäre (Luft).

Schritt 2.2: Auflistung der Begriffe und Relationen

In der Tabelle 20 findet sich eine Auflistung der Begriffe (Knoten) der transkribierten CM des Probanden (ANHE) und in der Tabelle 21 eine Auflistung der Relationen (Kanten) der transkribierten CM samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores.

Tabelle 20: Auflistung der Begriffe der transkribierten Concept Maps des Probanden ANHE.
Die Dokumentation der Begriffe (Knoten, KNO) erfolgt unter Angabe des Vorkommens in den Messzeitpunkten (I.-III.).

Begriffe (KNO)	Messzeitpunkt		
	I.	II.	III.
CO ₂	√	√	√
Fische	√	√	√
Sediment	√	√	√
Zooplankton	√	√	√
Phytoplankton	√	√	√
Zersetzung	√		
Bakterien	√	√	√
Licht	√	√	√
O ₂	√	√	√
Wasser	√		
Fotosynthese		√	
Zellatmung		√	
organ. N-Verbindungen	√	√	√

Tabelle 21: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) des Probanden ANHE

Die Dokumentation der Relationen (Kanten, KAN) erfolgt unter Angabe des Vorkommens in den Messzeitpunkten (I.-III.). Angegeben sind jeweils die individuellen Summenscores (IS) der einzelnen MZP. Für die Bestimmung des IS finden sich die Punktwerte (0-3) der einzelnen Relationen unter „Punkte“ sowie in der nächsten Spalte die zugrunde gelegte Regel (vergl. Bewertungsschema und Nebenabsprachen, S. 95ff.).

Relation (Kanten, KAN)	I.	II.	III.	Punkte	Regel
CO ₂ (2x) gelangt [aus dem Wasserkörper] in die Atmosphäre.	√		√	2	2.2
Fische sterben [und werden zu] Sediment.	√	√	√	2	2.1 und 2.2
Zooplankton stirbt [und wird zu] Sediment.	√	√	√	2	2.1 und 2.2
Phytoplankton stirbt [und wird zu] Sediment.	√	√	√	2	2.1 und 2.2
[Durch] Zersetzung [von Sediment] entsteht CO ₂ .	√			1	1.2
Abbau von Sediment [ist] Zersetzung.	√			0	0.3
Bakterien [sind] vorhanden im Sediment [und sind beteiligt an der] Zersetzung von Sediment.	√		√	3	3.1
Bakterien sind beteiligt bei der Zersetzung von Fischen.		√		2	2.1
Bakterien sind beteiligt bei der Zersetzung von Phytoplankton.		√		2	2.1
Phytoplankton braucht Licht.	√	√	√	3	3.1

IV. Ergebnisse - Wissensentwicklung in einer Domäne –
Quantitative Auswertung der transkribierten Concept Maps

Fortsetzung der Tabelle 21 ...

Relation (Kanten, KAN)	I.	II.	III.	Punkte	Regel
O ₂ [ist] im Wasser vorhanden.	√			1	1.2
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.		√		3	3.1
Phytoplankton gibt O ₂ ab.			√	3	3.1
Phytoplankton braucht O ₂ zum leben.			√	3	3.1
Phytoplankton nimmt CO ₂ auf.			√	3	3.1
Bakterien [haben einen] Bedarf an O ₂ .	√			1	1.1
Zooplankton [hat einen] Bedarf an O ₂ .	√		√	3	3.1
Phytoplankton betreibt Zellatmung.		√		1	1.2
Zooplankton betreibt Zellatmung.		√		1	1.2
Fische [haben einen] Bedarf an O ₂ .	√		√	3	3.1
Fische betreiben Zellatmung.		√		1	1.2
Zooplankton stößt CO ₂ aus.	√	√	√	3	3.1
Fische stoßen CO ₂ aus.	√	√	√	3	3.1
Phytoplankton stößt CO ₂ aus. ¹⁰⁷			√	3	3.1
Zooplankton ernährt sich von Phytoplankton.		√	√	3	3.1
Fische ernähren sich von Zooplankton.		√	√	3	3.1
Fische brauchen Licht.	√	√	√	1	1.2
Zooplankton braucht Licht.	√	√	√	1	1.2
Phytoplankton ernährt sich von Bakterien.		√		0	0.1
Bakterien sind beteiligt an der Zersetzung von Zooplankton.		√		2	2.1
Organ. N-Verbindungen entstehen aus Sediment.	√			0	0.1
Organ. N-Verbindungen entstehen [mithilfe von Bakterien] aus Sediment.		√		0	0.1
Organ. N-Verbindungen entstehen aus Boden.			√	0	0.1
Organ. N-Verbindungen [entstehen] mithilfe von Bakterien [aus Sediment].	√	√		0	0.1
Phytoplankton [hat einen] Bedarf an O ₂ .	√			1	1.1 + N5 ¹⁰⁸
Phytoplankton nimmt O ₂ auf.		√		1	1.1 + N5
Phytoplankton stößt CO ₂ aus.	√	√		1	1.1 + N5
Fische nehmen O ₂ [aus Atmosphäre] auf.		√		1	1.1 ¹⁰⁹
Zooplankton nimmt O ₂ [aus Atmosphäre] auf.		√		1	1.1 ¹¹⁰
Bakterien [sind] vorhanden im Phytoplankton. ¹¹¹	√			1	1.1 & 1.2 ¹¹²
Bakterien [sind] vorhanden im Zooplankton. ¹¹³	√			0	0.1

¹⁰⁷ Diese Relation wurde als fachwissenschaftlich richtig gewertet, da der Proband die fotosynthetische CO₂-Aufnahme ebenfalls dargestellt hat.

¹⁰⁸ Siehe Nebenabsprache 5.

¹⁰⁹ Diese Relation wurde als fachwissenschaftlich falsch gewertet, weil nicht die O₂-Aufnahme aus dem Wasser dargestellt ist, sondern aus der Atmosphäre. Sie wird mit einem Punkt bewertet, weil Fische O₂ aufnehmen.

¹¹⁰ Diese Relation wurde als fachwissenschaftlich falsch gewertet, weil nicht die O₂-Aufnahme aus dem Wasser dargestellt ist, sondern aus der Atmosphäre. Sie wird mit einem Punkt bewertet, weil die Lebewesen des Zooplanktons O₂ aufnehmen.

¹¹¹ „Sind vorhanden“ ist zu verstehen als „gehört zu“.

¹¹² Diese Relation wurde als fachwissenschaftlich falsch gewertet, weil interpretiert wird, dass der Proband Cyanobakterien nicht kennt. Sie wurde mit einem Punkt bewertet, weil die Relation fachwissenschaftlich und einzeln bewertet richtig ist. Die Bewertungen der Relationen wurden jedoch nicht einzeln vorgenommen, sondern im Zusammenhang mit dem CM, also der Wissensstruktur, in die sie integriert sind.

¹¹³ s. Fußnote 111

IV. Ergebnisse - Wissensentwicklung in einer Domäne – Quantitative Auswertung der transkribierten Concept Maps

Fortsetzung der Tabelle 21 ...

Individueller Summenscore:	34	39	46		
0 Punkte	4	3	1		
1 Punkt	8	9	2		
2 Punkte	4	6	4		
3 Punkte	6	6	12		

Schritt 2.3:

Beschriftungen sammeln, zusammenfassen und codieren

In diesem Schritt wurden zunächst alle Beschriftungen gesammelt. Anschließend wurde geprüft, ob sie inhaltlich zusammengefasst werden können. Ziel dieses Arbeitsschrittes war die Erstellung einer Tabelle mit allen erforderlichen Beschriftungen (s. Tabelle 22).

Sammeln der Beschriftungen:

gelangt [aus dem Wasserkörper] in die Atmosphäre
sterben [und werden zu]
[durch] ... [von Sediment] entsteht ...
Abbau von ... [ist] ...
[ist] im ... vorhanden
betreibt
nimmt ... auf
nehmen ... [aus Atmosphäre] auf
ernährt sich von
entstehen aus
[entstehen] mithilfe von ... [aus Sediment]
[Am/ Aus] ... entstehen ...

Zusammenfassen von Beschriftungen:

- [sind] vorhanden im Sediment [und sind beteiligt an der] Zersetzung von ...
- sind beteiligt bei der Zersetzung von ...

Zusammenfassung: sind beteiligt an der Zersetzung von ...

- braucht
- braucht ... zum Leben
- [haben einen] Bedarf an ...
- [hat einen] Bedarf an...

Zusammenfassung: braucht/ brauchen

- gibt ... ab
- stößt ... aus

Zusammenfassung: gibt ... ab

In der Tabelle 22 finden sich alle Beschriftungen, die in den transkribierten CM des Schülers ANHE verwendet wurden. Die Beschriftungen wurden mit Synonymen (Nummern) codiert. In den transkribierten CM finden sich entsprechend die Synonyme als Beschriftung an den Pfeilen.

Tabelle 22: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps

Synonyme (Zahlencodes) repräsentieren in den transkribierten CM die Beschriftungen der Verknüpfungen (Pfeile); F, fachwissenschaftlich falsche Kante.

Synonym	Beschriftung der Verknüpfung
1	gelangt [aus dem Wasserkörper] in die Atmosphäre
2	sterben [und werden zu]
3	[durch] ... [von Sediment] entsteht
4	Abbau von ... [ist]
5	[ist] im ... vorhanden
6	betreibt
7	nimmt ... auf
8	nehmen ... [aus Atmosphäre] auf
9	ernährt sich von
10	entstehen aus
11	[entstehen] mithilfe von ... [am Sediment]
12	sind beteiligt an der Zersetzung von ...
13	braucht/ brauchen
14	gibt/ geben ... ab
15	[Am/ Aus] ... entstehen
16	braucht (F)
17	ist/ sind im ... vorhanden (F)
18	sind vorhanden im (F)
19	gibt ... ab (F)
20	ernährt sich von ... (fF)

Schritt 3:

Erstellen der transkribierten Concept Maps (ANHE)

Die transkribierten CM wurden mithilfe einer Software¹¹⁴ erstellt. Alle Begriffe wurden in die Kästchen eingetragen. Die Beschriftung der Pfeile erfolgte mit den Synonymen, also mit Zahlen an den Pfeilen. Die entsprechende Beschriftung findet sich in der im Schritt 2.3 erstellten Tabelle (Tabelle 22), in der alle Beschriftungen mit Synonymen versehen sind. Fachwissenschaftlich falsche Relationen wurden in den transkribierten CM mit fett gedruckten, roten Pfeilen hervorgehoben.

Im Folgenden sind die CM der drei Messzeitpunkte (MZP I-III) des Schülers ANHE in transkribierter Form abgebildet.

¹¹⁴ Software: Mannheimer Netzwerk Elaborations Technik MaNET Version 1.5.0

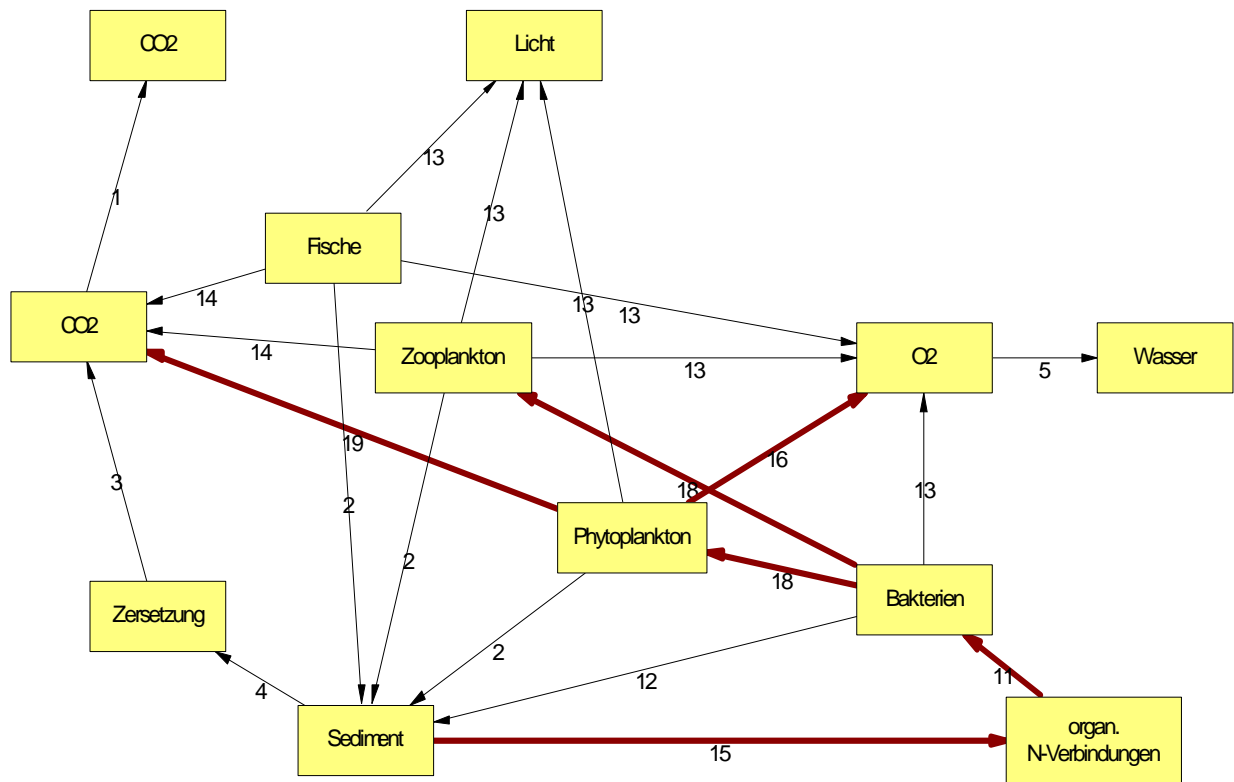


Abb. 29: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ANHE (MZP I)

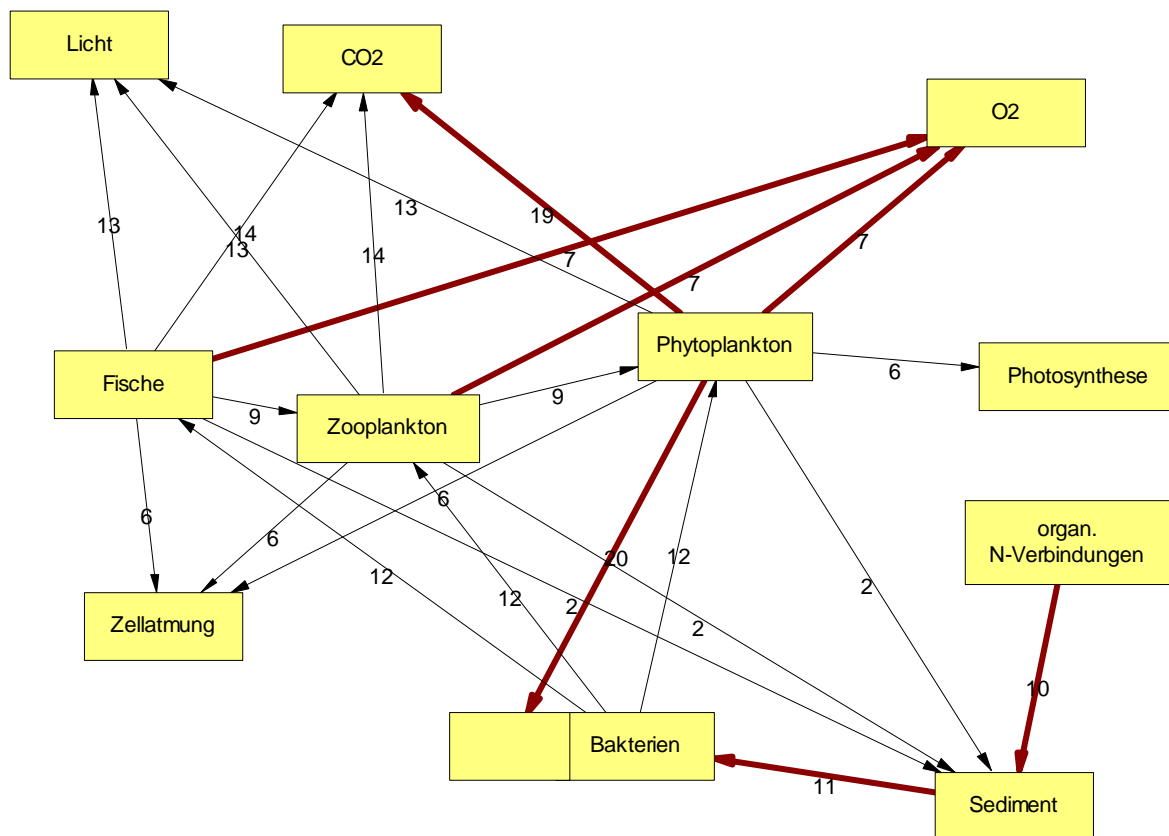


Abb. 30: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ANHE (MZIP II)

Anmerkungen zum transkribierten CM des Schülers ANHE (MZIP II):

1. In der Abbildung findet sich ein Doppelkästchen (s. Bakterien), das als ein Kästchen zu interpretieren ist. Das hat sich aus Gründen der verwendeten Software ergeben, mit der sich keine Hin- und Rückpfeile zwischen zwei Begriffen ziehen lassen.

2. Die Sauerstoffaufnahme von Fischen, der Lebewesen des Zooplanktons und des Phytoplanktons wird als fachwissenschaftlich falsch gewertet, weil der Sauerstoff in die Atmosphäre gezeichnet ist, weil der Schüler also eine O₂-Aufnahme aus der Atmosphäre darstellt, was fachwissenschaftlich falsch ist.

3. Die Relationen zwischen Fischen, den Lebewesen des Zooplanktons und des Phytoplanktons zu „Zellatmung“ mit der Beschriftung Nr. 6 „betreibt/ betreiben“ werden als fachwissenschaftlich richtig gewertet, weil der Fachbegriff korrekt zugeordnet wird.

In die qualitative Auswertung, also der Erfassung der Inhalte und Fehlkonzepte, werden diese Relationen nicht aufgenommen, da die Zellatmung über den Prozess der Aufnahme und Abgabe der Gase (CO₂ und O₂) erfasst wird.

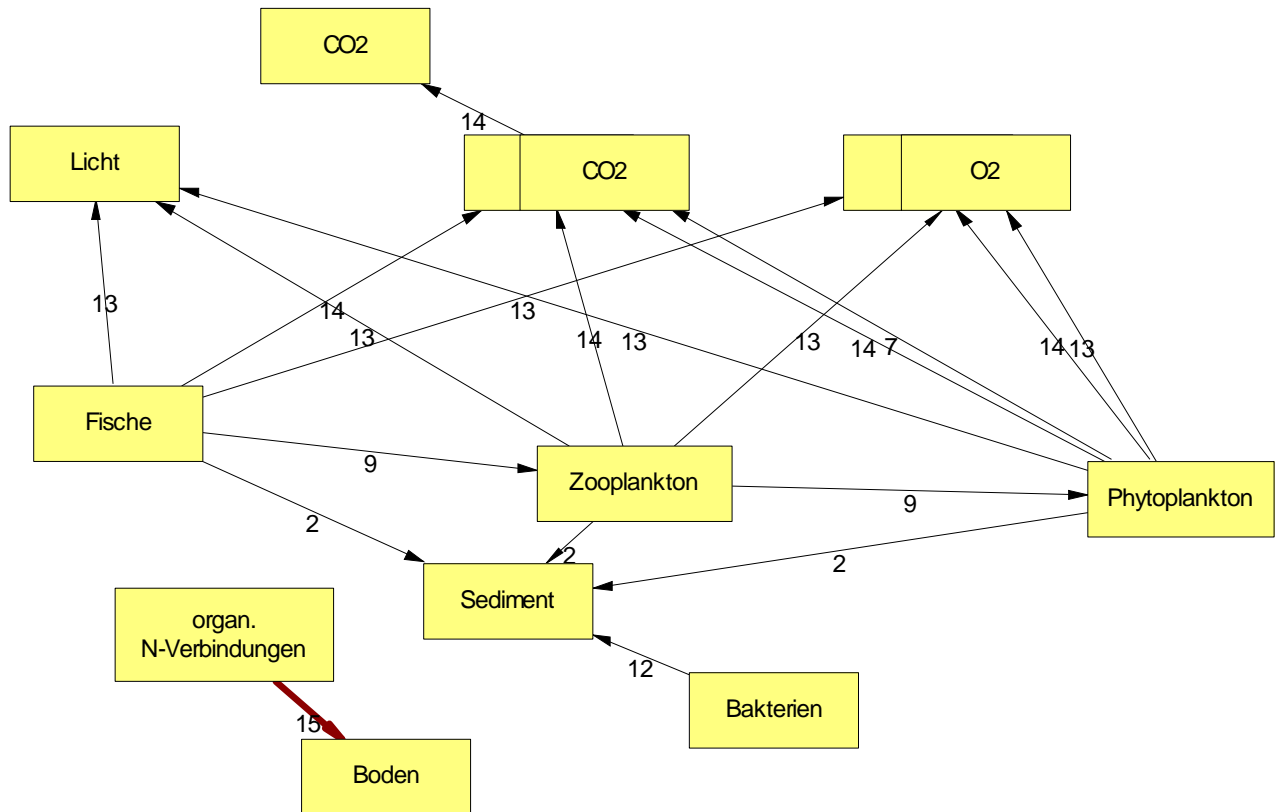


Abb. 31: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ANHE (MZP III)

Anmerkungen zum transkribierten CM des Schülers ANHE (MZP II):

In der Abbildung finden sich Doppelkästchen (s. CO₂ und O₂), die jeweils als ein Kästchen zu interpretieren ist. Das hat sich aus Gründen der verwendeten Software ergeben, mit der sich keine Hin- und Rückpfeile zwischen zwei Begriffen ziehen lassen.

IV.3.2 Quantitative Auswertung der transkribierten Concept Maps

Die quantitative Auswertung der transkribierten CM setzte sich zusammen aus der Bestimmung der Grafenmaße (Kap. IV.3.2.1) und des individuellen Summenscores (Kap. IV.3.2.2).

IV.3.2.1 Grafentheoretische Auswertungen

Interraterreliabilität

Die Bestimmung der Grafenmaße der transkribierten CM wurde von zwei unabhängigen Bewertern vollständig durchgeführt (s. Kap. III.4.4.2). Die Interraterreliabilität, ermittelt über die Spearman-Rangkorrelation (r), beträgt für die Grafenmaße KNO (Knoten) und KAN (Kanten) $r = 0.98-1.0$. Für die Grafenmaße KAN R und KAN F, in denen zwischen fachwissenschaftlich richtigen und fachwissenschaftlich falschen Kanten unterschieden wurde, betragen die Korrelationen $r = 0.96-0.98$. Damit sind die Interraterreliabilitäten sehr gut.

Faktenwissen und Fehlkonzepte

Das Faktenwissen wurde mithilfe der Grafenmaße KNO (Knoten) und KAN R (fachwissenschaftlich richtige Kanten) erhoben und die Fehlkonzepte mit dem Grafenmaß KAN F (fachwissenschaftlich falsche Kanten).

Das Balkendiagramm der Abb. 32 stellt die Daten des Faktenwissens und der Fehlkonzepte dar.

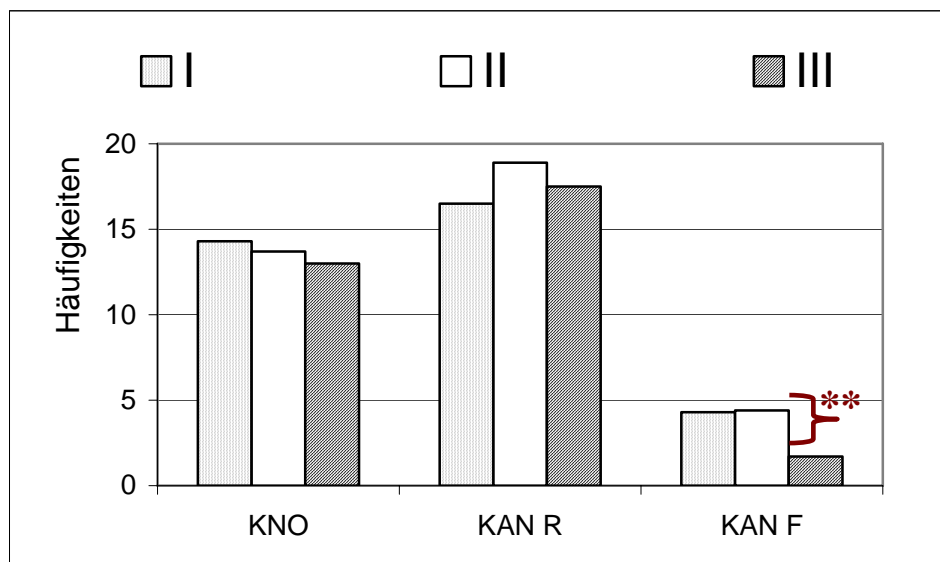


Abb. 32: Faktenwissen und Fehlkonzepte der Schüler des Biologie-Leistungskurses (N= 10) über die drei Messzeitpunkte (I-III)

Die drei Messzeitpunkte sind: I, Pre-Test; II, Zwischentest; III, Post-Test. *Faktenwissen*: KNO, Begriffe; KAN R, fachwissenschaftlich richtige Kanten; *Fehlkonzepte*: KAN F, fachwissenschaftlich falsche Kanten. Achsen: x-Achse, Grafenmaße; y-Achse, Häufigkeiten. Die Klammer, die mit ** versehen ist, zeigt eine signifikante Veränderung an.

Im Faktenwissen zeigten sich bei den Schülern keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten. Die Anzahl der Begriffe (KNO) veränderte sich kaum, die der fachwissenschaftlich richtigen Kanten stieg zunächst an und sank dann wieder leicht ab. Die Anzahl der Fehlkonzepte (KAN F) nahm bei den Schülern in der Zeit vom Zwischentest zum Post-Test signifikant¹¹⁵ ab.

Strukturwissen

Die Entwicklung des Strukturwissens ist in der Abb. 33 dargestellt.

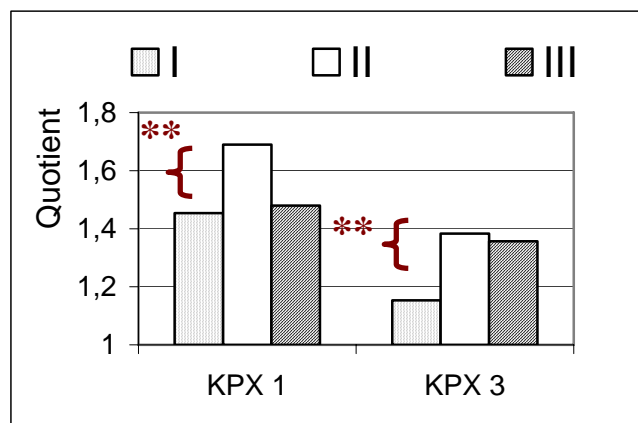


Abb. 33: Strukturwissen der Schüler des Biologie-Leistungskurses (N= 10) über die drei Messzeitpunkte (I-III)

Die drei Messzeitpunkte sind: I, Pre-Test; II, Zwischentest; III, Post-Test. *Grafenmaße für Strukturwissen*: KPX 1 = KAN/ KNO; KPX 3 = KAN R/ KNO. Achsen: x-Achse, Grafenmaße; y-Achse, Quotient. Die Klammern, die mit ** versehen sind, zeigen signifikante Veränderungen an.

Das Strukturwissen stieg bei den Schülern bis zum Zeitpunkt des Zwischentests (MZP II) signifikant an. Der Datenverlauf der beiden Indices für Strukturwissen unterscheidet sich vom Zeitpunkt des Zwischentests zum Post-Test: KPX 1 zeigt einen Trend in Richtung Abnahme¹¹⁶ und KPX 3 bleibt unverändert. Das bedeutet, dass das fachwissenschaftlich richtige Strukturwissen, erhoben als KPX 3, bei den Schülern vom Zeitpunkt des Zwischentests bis zum Post-Test konstant geblieben ist. Das Strukturwissen, in das auch die Fehlkonzepte einbezogen wurden, also KPX 1, nahm vom Zwischentest bis zum Post-Test ab.

Die Ergebnisse dienen, zusammen mit den Ergebnissen aus der Bestimmung des individuellen Summenscores (s. Kap. IV.3.2.2) und den Ergebnissen der qualitativen Analyse (s. Kap. IV.3.4), zur Prüfung der Hypothesen H.3.1.1 und H.3.1.2 (s. Kap. V.4.2).

¹¹⁵ Wilcoxon: N= 7, 6 negative Ränge, 1 positiver Rang, T= 1, p= 0,05.

¹¹⁶ KPX 1 Abnahme vom Zwischentest zum Post-Test: 7 negative Ränge, 3 positive Ränge.

IV.3.2.1.A Untersuchung der Rolle des Vorwissens für die Wissensentwicklung

Zur Aufklärung der Zusammenhänge zwischen dem Vorwissen der Schüler und ihrer Wissensentwicklung dienten Korrelationsanalysen, in denen das Faktenwissen (Tabelle 23 und Tabelle 24) und das Strukturwissen (Tabelle 25 bis Tabelle 27) separat untersucht wurden: Es wurden Zusammenhänge zwischen dem Vorwissen und dem Wissen, erhoben im Zwischentest und Post-Test, untersucht. Ebenso wurden Zusammenhänge zwischen den Fehlkonzepten untersucht. Die Ergebnisse dienten zur Prüfung der Hypothese H.3.1.3 (s. Kap. V.3.3).

Faktenwissen

In Tabelle 23 finden sich die Daten der Korrelationsanalysen zwischen dem Faktenwissen, das im Pre-Test als Vorwissen erhoben wurde, und dem Faktenwissen, das sich im Zwischentest bei den Schülern (N= 10) gezeigt hat.

Tabelle 23: Korrelationsanalyse des Faktenwissens (Vorwissen und Wissen im Zwischentest)

Abkürzungen: KNO, Begriffe; KAN R, fachwissenschaftlich richtige Kanten; p= einseitige Signifikanz; r= Spearman-Rangkorrelation.

Zwischentest → Pre-Test ↓	KNO	KAN R
KNO	r= 0,349 p= 0,162	r= 0,420 p= 0,113
KAN R	r= - 0,037 p= 0,459	r= 0,498 p= 0,071

In Tabelle 24 finden sich die Daten der Korrelationsanalysen zwischen dem Faktenwissen, das im Pre-Test als Vorwissen erhoben wurde, und dem Faktenwissen, das sich im Post-Test bei den Schülern gezeigt hat.

Tabelle 24: Korrelationsanalyse des Faktenwissens (Vorwissen und Wissen im Post-Test)

Abkürzungen: KNO, Begriffe; KAN, Kanten gesamt; KAN R, fachwissenschaftlich richtige Kanten; p= einseitige Signifikanz; r= Spearman-Rangkorrelation.

Post-Test → Pre-Test ↓	KNO	KAN R
KNO	r= 0,337 p= 0,170	r= 0,303 p= 0,197
KAN R	r= 0,604* p= 0,032	r= 0,531 p= 0,057

Eine Durchführung partieller Korrelationen mit den entsprechenden Kontrollvariablen des Zwischentests ändert nicht die Datenübersetzung, somit kann geschlossen werden:

- Je größer das Faktenwissen der Schüler im Vorwissen war, desto größer war auch das aufgebaute Faktenwissen im Projekt.

Strukturwissen

Es zeigt sich ein Zusammenhang, wenn auch nicht signifikant, zwischen dem Strukturwissen der Schüler im Pre-Test und Zwischentest (Tabelle 25).

Tabelle 25: Korrelationsanalyse des Strukturwissens (Vorwissen - Zwischentest)

Abkürzungen: KPX 3, Komplexitätsindex 3 (=KAN R / KNO); p, einseitige Signifikanz; r, Spearman-Rangkorrelation.

Zwischentest →	KPX 3
Pre-Test ↓	
KPX 3	r= 0,426 p= 0,110

Demgegenüber zeigt sich kein Zusammenhang zwischen dem Strukturwissen des Vorwissens der Schüler und dem Strukturwissen, das im Post-Test erhoben wurde (Tabelle 26).

Tabelle 26: Korrelationsanalyse des Strukturwissens (Vorwissen - Post-Test)

Abkürzungen: KPX 3, Komplexitätsindex 3 (=KAN R / KNO); p, einseitige Signifikanz; r, Spearman-Rangkorrelation.

Post-Test →	KPX 3
Pre-Test ↓	
KPX 3	r= 0,098 p= 0,394

Da die Korrelationen im Bereich des Strukturwissens zwischen dem Vorwissen und dem Wissen im Post-Test deutlich niedriger sind als zwischen dem Vorwissen und dem Wissen im Zwischentest, wurden zusätzlich die Korrelationen zwischen dem Strukturwissen, das im Zwischentest erhoben worden war, und dem Strukturwissen, das im Post-Test erhoben worden war, untersucht (s. Tabelle 27).

Tabelle 27: Korrelationsanalyse des Strukturwissens (Zwischentest - Post-Test)

Abkürzungen: KPX 3, Komplexitätsindex 3 (=KAN R / KNO); p, einseitige Signifikanz; r, Spearman-Rangkorrelation.

Post-Test →	KPX 3
Zwischentest ↓	
KPX 3	r= 0,711* p= 0,011

Hier zeigen sich sehr hohe Korrelationen zwischen dem Strukturwissen zum Zeitpunkt des Zwischentests und dem Strukturwissen, das die Schüler am Projektende aufgebaut haben. Das bedeutet für den Aufbau von fachwissenschaftlich richtigem Strukturwissen (KPX 3):

- Je größer das Vorwissen der Schüler war, desto integrierter war auch die Struktur des Wissens während des Projekts.

Am Ende war nicht das Vorwissen bedeutsam, sondern das bereits aufgebaute Wissen:

- Je komplexer die aufgebaute Struktur des Wissens der Schüler während des Projekts war, desto komplexer war auch die Wissensstruktur am Ende des Projekts.

Fehlkonzepte

Die Untersuchung der Fehlkonzepte ergab, dass die Fehlkonzepte des Vorwissens der Schüler in keinem Zusammenhang mit den Fehlkonzepten in den CM der späteren Messzeitpunkte stehen. Es zeigte sich jedoch ein signifikanter Zusammenhang – ähnlich dem des Strukturwissens (s. Tabelle 27) - zwischen den Fehlkonzepten in den CM des Zwischentests und denen in den CM des Post-Tests (s. Tabelle 28).

Tabelle 28 Korrelationsanalyse der Fehlkonzepte (Zwischentest - Post-Test)

Abkürzungen: KAN F, fachwissenschaftlich falsche Kanten; p, einseitige Signifikanz; r, Spearman-Rangkorrelation.

Post-Test → Zwischentest ↓	KAN F
KAN F	r= 0,66* p= 0,019

Das bedeutet für die Anzahl der Fehlkonzepte im Wissen der untersuchten Schüler:

- Je mehr Fehlkonzepte im Zwischentest vorgekommen sind, desto mehr Fehlkonzepte kamen auch im Post-Test vor.

IV.3.2.2 Bestimmung des individuellen Summenscores

Die Ermittlung des individuellen Summenscores ist in Kap. III.4.4.3.C im Detail beschrieben. Der individuelle Summenscore ist ein numerisches Maß für die Qualität des Wissens, das in den CM dargestellt ist. Jede einzelne Relation (Kante) wurde auf einer Punkteskala von 0-3 bewertet. Die Summe dieser Bewertungen ergab einen individuellen Summenscore für jedes CM der Schüler (s. Einzelfallanalysen, Kap. VII.6.1). In der Abb. 34 finden sich die Mittelwerte des individuellen Summenscores der untersuchten Schülergruppe in den drei MZP. Eine detaillierte Betrachtung der Häufigkeiten der einzelnen Punktniveaus ist in Abb. 36 dargestellt. Darin repräsentieren Relationen mit 0 Punkten fachwissenschaftlich falsches Wissen, wissenschaftlich nicht relevantes Wissen (z. B. dass Wasser Lebensraum für Fische ist) und selbsterklärende Aussagen (z. B. dass Zooplankton stirbt und dann totes Zooplankton ist). Mit steigender Punktzahl steigt auch die Qualität und damit die Wertigkeit der Kanten. 3 Punkte erhalten Kanten, die auch in dem Referenznetz vorkommen bzw. in Bezug auf das Nahrungsnetz der Ostsee von Bedeutung sind (Details s. Bewertungsschema und Nebenabsprachen zur Bestimmung des individuellen Summenscores, Kap. III.4.4.3.C). Die Ergebnisse dienen zusammen mit den grafentheoretischen Auswertungen (s. Kap. IV.3.2.1) und den qualitativen Auswertungen (s. Kap. IV.3.4) der Prüfung der Hypothese H.3.1.1 (s. Kap. V.4.2).

In dem Balkendiagramm (Abb. 34) ist der Verlauf der Mittelwerte des individuellen Summenscores (IS) über die drei Messzeitpunkte (MZP I-III) der untersuchten Stichprobe (Bio-LK; N=10) abgebildet.

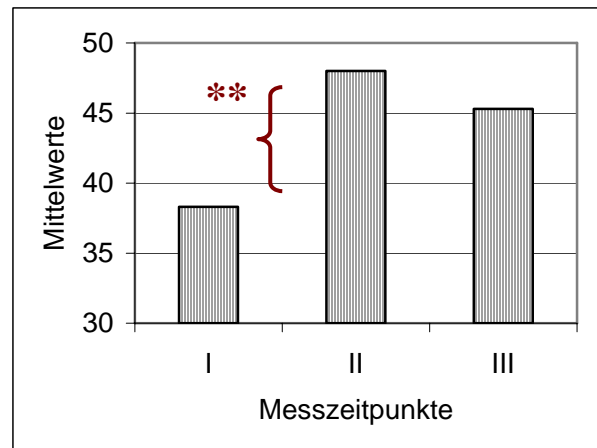


Abb. 34: Individuelle Summenscores (IS) der Schüler des Biologie Leistungskurses (N= 10) über die drei Messzeitpunkte

Dargestellt sind die Mittelwerte der individuellen Summenscores der Schüler des Bio-LK (N= 10) über die drei Messzeitpunkte (I-III). Achsen: x-Achse, Messzeitpunkte; y-Achse, Mittelwerte. Die Klammer mit ** zeigt eine signifikante Veränderung an.

Aus der Abb. 34 geht hervor, dass das Wissen der Schüler, erhoben als individueller Summenscore (IS), vom Messzeitpunkt I nach II signifikant angestiegen ist¹¹⁷. Außerdem zeigt sich eine Konstanz des Wissens vom MZP II nach III: Der Mittelwert des individuellen Summenscores verändert sich nicht auffällig (s. a. Abb. 33, S. 153, KPX 3). Das wird noch deutlicher bei Betrachtung der Mediane in den Box-und-Whisker-Plots (Abb. 35, zu Box-und-Whisker-Plots s. Kap. III.4.2.1).

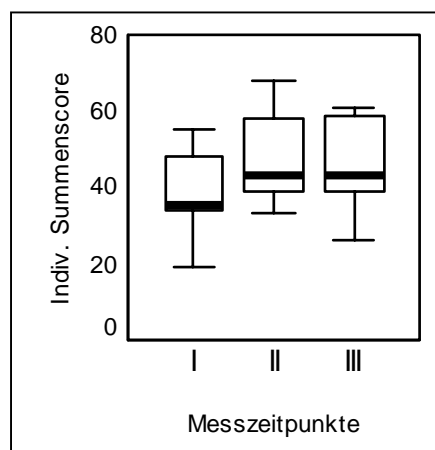


Abb. 35: Individuelle Summenscores (IS) der Schüler des Biologie-Leistungskurses (N= 10) zu den drei Messzeitpunkten

Achsen: x-Achse, Messzeitpunkte (I, Pre-Test; II, Zwischentest; III, Post-Test); y-Achse, Individuelle Summenscores. Box: 25%-75%-Quartil; schwarzer Balken: Median.

¹¹⁷ Wilcoxon: N= 10, 1 negativer Rang, 9 positive Ränge, T= 5, p= 0,05.

Diese genauere Betrachtung der Datenverteilung (s. Abb. 35) bestätigt ebenfalls die Wissenszunahme vom MZP I nach II (MZP I: Median: 35,5; Interquartilabstand: 15,75; MZP II: Median: 43,5; Interquartilabstand: 21,25) (s. a. Abb. 34). Außerdem bestätigt sich eine Konstanz des quantitativen Wissens von MZP II nach III (MZP III: Median: 43,5; Interquartilabstand: 21, s. a. KPX 3 in Abb. 33).

Die Betrachtung der Häufigkeiten der Relationen der verschiedenen Punkteniveaus zeigt, dass es vom Zwischentest zum Post-Test bei den Schülern zu einem qualitativen Wissenszuwachs gekommen ist (s. Abb. 36).

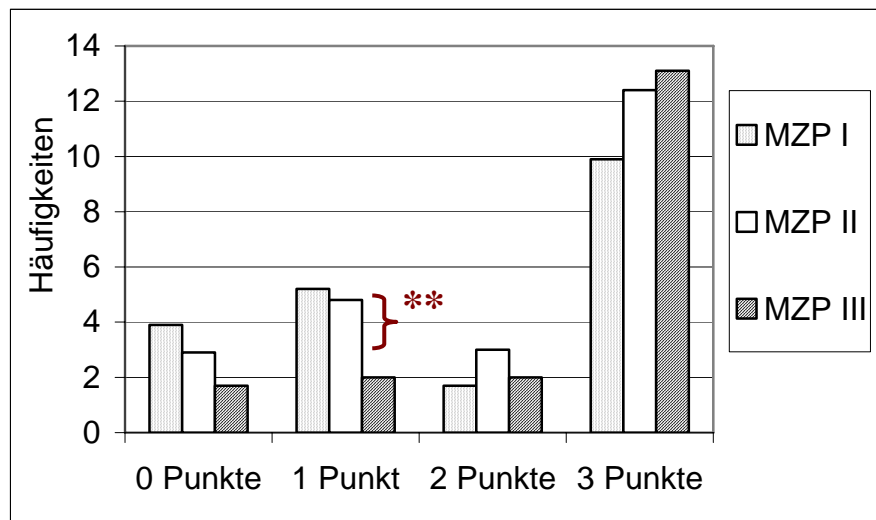


Abb. 36: Häufigkeiten der einzelnen Punkteniveaus (0-3) in den drei Messzeitpunkten (MZP)

Achsen: x-Achse, Punkteniveaus (0-3) der drei Messzeitpunkte; y-Achse, Häufigkeiten. Abkürzungen: MZP I, Pre-Test; MZP II, Zwischentest und MZP III, Post-Test. Die Klammer, die mit ** versehen ist, zeigt eine signifikante Veränderung an.

Die Häufigkeiten der Relationen mit 0 Punkten sinken vom MZP I bis MZP III, d. h. dass die fachwissenschaftlich falschen Relationen sowie die wissenschaftlich nicht bedeutsamen Relationen bei den Schülern kontinuierlich über die Messzeitpunkte abgenommen haben. Das Absinken vom II. zum III. MZP ist nicht signifikant, es zeigt sich jedoch ein deutlicher Trend¹¹⁸.

Relationen mit einem Punkt bleiben zunächst unverändert und sinken bis zum MZP III signifikant ab¹¹⁹, d. h. dass Relationen, die nur teilweise fachwissenschaftlich richtig sind sowie Relationen, die zwar fachwissenschaftlich richtig sind, jedoch nicht im Referenznetz vorkommen, bei den Schülern vom Zeitpunkt des Zwischentests bis zum Post-Test signifikant weniger wurden.

Relationen mit 2 Punkten steigen zunächst und sinken dann wieder, beides nicht signifikant.

Die Relationen mit 3 Punkten sind in den Häufigkeiten deutlich höher als Relationen mit den anderen Punkteniveaus und steigen mit den MZP an. Vom MZP I nach MZP II steigen sie deutlich stärker an als vom MZP II nach MZP III. Der erste Anstieg ist zwar nicht signifikant,

¹¹⁸ Wilcoxon: N= 8, 7 negative Ränge, 1 positiver Rang, T= 6,5.

¹¹⁹ Wilcoxon: N= 9, 8 negative Ränge, 1 positiver Rang, T= 4, p= 0,05.

doch es zeichnet sich ein deutlicher Trend ab (Wilcoxon: 2 negative Ränge, 7 positive Ränge, $T=7$). Das bedeutet, dass Relationen, die im Referenznetz vorkommen und fachwissenschaftlich richtig beschriftet wurden, sowie Relationen, die zwar nicht im Referenznetz vorkommen, jedoch wissenschaftlich in Bezug auf das Nahrungsnetz sehr bedeutsam sind, bei den Schülern mengenmäßig dominierten und außerdem mit den Messzeitpunkten zugenommen haben.

IV.3.3 Zusammenfassung

Die Untersuchung der Vorwissensabhängigkeit ergab für das Fakten- und Strukturwissen einen Zusammenhang zwischen dem Vorwissen und dem Wissensaufbau (s. Tabelle 23 und Tabelle 24). Darin zeigte sich für das Strukturwissen ein engerer Bezug zum Prozess des Wissensaufbaus als zum Vorwissen (s. Tabelle 25 & Tabelle 26). Die Fehlkonzepte des Vorwissens haben in keinem Zusammenhang mit den Fehlkonzepten gestanden, die sich während und nach dem Projekt zeigten. Es zeigte sich aber ein positiver Zusammenhang zwischen den Fehlkonzepten im Zwischentest und denen im Post-Test (s. Tabelle 28).

In den grafentheoretischen Auswertungen der transkribierten CM zeigte sich, dass sich das Faktenwissen der Schüler über die Messzeitpunkte nicht signifikant verändert hat (s. Abb. 32). Das Strukturwissen der Schüler hat jedoch vom Zeitpunkt des Pre-Tests bis zum Zwischentest signifikant zugenommen (s. Abb. 33). Bis zum Post-Test zeigte sich in dem fachwissenschaftlich richtigen Strukturwissen (erhoben als KPX 3) keine weitere Veränderung (s. Abb. 33, KPX 3 Index). Die vorkommenden Fehlkonzepte der Schüler haben jedoch vom Zeitpunkt des Zwischentests zum Post-Test signifikant abgenommen (s. Abb. 32, KAN F, s. a. Abb. 33, KPX 1).

Der Wissenszuwachs der Schüler vom Zeitpunkt des Pre-Tests zum Zwischentest zeigte sich auch in dem individuellen Summenscore der CM der drei Messzeitpunkte (s. Abb. 34). Die Analyse der Häufigkeiten der Relationen verschiedener Punkteniveaus zeigte Folgendes (s. Abb. 36): Relationen mit null Punkten und einem Punkt sinken kontinuierlich über die Messzeitpunkte und Relationen mit drei Punkten, also sehr hochwertige Relationen, steigen an. Darin zeichnete sich eine Entwicklung des Wissens der Schüler über die Messzeitpunkte, also über die Projektzeit, in Richtung höhere Qualität ab.

IV.3.4 Qualitative Auswertung der transkribierten Concept Maps

Für die Bearbeitung der explorativen Fragestellungen (3.2.1 und 3.2.2) über die Wissensentwicklung der Schüler und außerdem zur inhaltlichen Ergänzung der quantitativen Auswertungen (s. Kap. IV.3.2), wurden die qualitativen Analysen durchgeführt. Diese basierten ebenfalls auf den transkribierten CM der Schüler des Bio-LK (N= 10) (s. Kap. VII.6.1). Untersucht wurden die fachwissenschaftlich richtig dargestellten Inhalte (erhoben als KAN R) und die fachwissenschaftlich falschen Inhalte (erhoben als KAN F) über die verschiedenen Fachkonzepte (s. Kap. II.4.1). Bei den fachwissenschaftlich falschen Kanten (KAN F) wurde unterschieden zwischen eindeutig falschen Kanten (1) und nicht eindeutig falschen Kanten (2) (s. Kap. III.4.4.3.F).

Details sind der Anleitung zur Ermittlung der Grafenmaße (s. Kap. III.4.4.1, KAN R und KAN F), der Anleitung zur Transkription der CM (s. Kap. III.4.4.3.A), den Transkripten der einzelnen Schüler (s. Kap. VII.6.1) und der Gruppenanalysen (s. Kap. VII.6.2) zu entnehmen. In den Transkripten der einzelnen Schüler finden sich - über die Dokumentation der Transkription der CM hinaus (Schritte 1-3) - Tabellen, in denen die fachwissenschaftlich richtigen und falschen Inhalte der einzelnen Messzeitpunkte zusammengefasst sind.

Im Folgenden werden die erfassten Inhalte unter Hervorhebung der zentralen Tendenzen vorgelegt. Für die Nachvollziehbarkeit der Generierung dieser Ergebnisse wird ausdrücklich auf Kap. VII.6.2 hingewiesen, in dem die Herausarbeitung dieser zentralen Tendenzen detailliert dokumentiert ist.

IV.3.4.1 Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser

Die Schüler hatten kaum Vorwissen über das Konzept Gasaustausch zwischen der Atmosphäre und dem Wasser (s. a. Kap. VII.6.2.1 und Tabelle 63). In den CM finden sich Darstellungen einseitiger Gasflüsse von O_2 bzw. CO_2 , jedoch keine zweiseitigen Diffusionsvorgänge¹²⁰. Das lernte die Schülergruppe, bis auf einen Schüler, der die Diffusion im Zwischentest dargestellt hat, auch nicht während des Projekts. Zu diesem Konzept wählten die Schüler zwar die relevanten Elemente aus (CO_2 und O_2), sie stellten allerdings keine Diffusionsprozesse dar (bis auf eine Ausnahme). Das bedeutet, dass die Schüler dieses Fachkonzept nicht verstanden haben.

IV.3.4.2 Fotosynthese und Nährstoffe

Über das Konzept Fotosynthese und Nährstoffe finden sich von Anfang an fachwissenschaftlich richtige Darstellungen über die Fotosynthese der Lebewesen des Phytoplanktons unter Einbeziehung der Elemente Licht, CO_2 und O_2 (s. a. Kap. VII.6.2.2 und Tabelle 63). Bezüglich des Nährstoffbedarfs der Lebewesen des Phytoplanktons finden sich bei Einzelschülern Darstellungen von stickstoffhaltigen Nährstoffen (NO_3^- und NH_4^+). Bis zum Zwischentest zeigt sich ein quantitativer Wissenszuwachs, indem über die Hälfte der Schüler im Zwischentest eine Nährstoffaufnahme durch das Phytoplankton darstellen (s. 337, Tabelle 63). Der Wissenszuwachs setzt sich bis zum Ende des Projekts als qualitativer

¹²⁰ Diese einseitigen Gasflüsse wurden in demselben CM entweder in die eine oder in die andere Richtung dargestellt.

Zuwachs fort, indem die Schüler verstehen, dass die Lebewesen des Phytoplanktons unter den stickstoffhaltigen Nährstoffen NO_3^- bevorzugt aufnehmen (gegenüber NH_4^+).

In dem Konzept Fotosynthese und Nährstoffe zeigen sich im Vorwissen bei der Hälfte der Schüler fachwissenschaftlich falsche Kanten (s. S. 325, Tabelle 57). Am Projektende zeigt sich nur noch eine falsche Kante, welche eine nicht eindeutig falsche Kante ist. Die vorkommenden falschen Kanten resultierten hauptsächlich daraus, dass das Zooplankton mit dem Phytoplankton verwechselt wurde bzw. dass die Lebewesen des Zooplanktons als fotosynthetisch autotroph dargestellt wurden. Für ein fachwissenschaftlich richtiges Verständnis des Konzepts Fotosynthese und Nährstoffe war somit die fachwissenschaftlich richtige Einordnung des Zooplanktons in das Fachkonzept einfache Nahrungskette sehr wichtig.

IV.3.4.3 Respiration des Phytoplanktons

Vorwissen über das Fachkonzept Respiration des Phytoplanktons hatte kein Schüler (s. a. Kap. VII.6.2.3 und Tabelle 63). Am Projektende stellte ein kleiner Teil der Schüler die Respiration des Phytoplanktons vollständig dar. Relationen, in denen eine O_2 -Aufnahme bzw. CO_2 -Abgabe durch die Lebewesen des Phytoplanktons dargestellt sind, wurden als falsche Relationen gewertet, wenn in demselben CM keine fotosynthetische O_2 -Abgabe bzw. CO_2 -Aufnahme durch die Lebewesen des Phytoplanktons dargestellt sind. Fachwissenschaftlich bewertet beschreiben diese Relationen die Zellatmung zwar richtig, jedoch wurden diese Relationen von dem Schüler nicht adäquat integriert. Ziel der vorliegenden Arbeit war es aufzuklären, ob die Schüler ein Verständnis in der Domäne erreichen. Wenn ein Schüler die Vorgänge der Respiration des Phytoplanktons fachwissenschaftlich richtig darstellt, jedoch nicht die fotosynthetische O_2 -Bildung bzw. CO_2 -Abgabe, zeigt das, dass der Proband die Lebewesen des Phytoplanktons fachwissenschaftlich falsch einordnet und somit noch kein fachwissenschaftlich richtiges Verständnis über das Ökosystem und dessen Nahrungsbeziehungen hat.

IV.3.4.4 Respiration heterotropher Lebewesen

Darstellungen über die Respiration heterotropher Lebewesen finden sich in allen CM aller Messzeitpunkte (s.a. Kap. VII.6.2.4 und Tabelle 63). Den meisten Schülern waren Fische als heterotrophe Lebewesen bereits vor dem Projekt bekannt. Sie stellten die entsprechende O_2 -Aufnahme und CO_2 -Abgabe der Fische dar. Die Respiration der Lebewesen des Zooplanktons war nur einzelnen Schülern entsprechend bekannt. Ein Wissenszuwachs zeigt sich vom Pre-Test zum Zwischentest, indem die Hälfte der Schüler die Respiration der Lebewesen des Zooplanktons in ihren CM des Zwischentests dargestellt haben. Bis zum Projektende zeigt sich kein weiterer Wissenszuwachs.

Falsche Kanten zeigen sich nur indirekt (s. Tabelle 58): Einzelne Schüler stellten eine O_2 -Aufnahme aus der Atmosphäre dar oder gaben an, dass Fische Luft mit ihren Kiemen aus dem Wasser filtern. Am Projektende zeigen sich in diesem Zusammenhang keine falschen Kanten mehr.

IV.3.4.5 Einfache Nahrungskette

Bezüglich der einfachen Nahrungskette ist es in der untersuchten Stichprobe vom Zeitpunkt des Pre-Tests bis zum Post-Test zu einem kontinuierlichen Wissenszuwachs gekommen (s. a. Kap. VII.6.2.5 und Tabelle 63). Die Nahrungsbeziehung zwischen Fischen und Plankton (Phyto- und Zooplankton) war über der Hälfte der Schüler von Anfang an bekannt, wobei keiner der Schüler am Ende des Projekts eine Nahrungsbeziehung zwischen Phytoplankton und Fischen darstellte. Hier bleibt allerdings die Frage offen, ob die Schüler nun davon ausgegangen sind, dass die Lebewesen des Phytoplanktons keine direkte Nahrung für Fische sein können. Im Vorwissen der Schüler finden sich falsche Kanten (Details s. Tabelle 59), in denen die Lebewesen des Zooplanktons Nahrung für die Lebewesen des Phytoplanktons sind und Nährstoffe direkt aus dem Wasserkörper aufnehmen. Bezüglich der Nährstoffe zeigen sich falsche Kanten, die darauf schließen lassen, dass die Schüler nicht verstanden haben, dass Nährstoffe über die Nahrungskette weitergegeben werden. Weiterhin zeigen sich im Vorwissen der Schüler falsche Kanten darüber, dass in dem Zoo- und Phytoplankton Bakterien vorkommen. Solche Darstellungen finden sich in den CM ab dem Zwischentest nicht mehr. Zu diesem Fachkonzept zeigen sich in den CM des Post-Test keine falschen Kanten mehr¹²¹.

IV.3.4.6 Mikrobielle Schleife

Wissen über die mikrobielle Schleife war vor dem Projekt bei keinem Schüler vorhanden (s. a. Kap. VII.6.2.6 und Tabelle 63). Es kam auch mit der Projektdurchführung zu keinem Wissenszuwachs. Es finden sich zwar in den CM des Pre-Tests und des Zwischentest einzelne Darstellungen darüber, dass die Lebewesen des Zooplanktons Bakterien als Nahrung aufnehmen, doch diese Schüler stellten zudem eine entsprechende Aufnahme von Bakterien durch die Lebewesen des Phytoplanktons dar. Daraus lässt sich ableiten, dass den Schülern die mikrobielle Schleife nicht bekannt war.

IV.3.4.7 Nährstoffkreisläufe

Das Vorwissen über den Nährstoffkreislauf war in der Gruppe gering (s. a. Kap. VII.6.2.7 und Tabelle 63): Eine bakterielle Zersetzung organ. Stoffe war zwar der Hälfte der Schüler bekannt, doch ein Recycling von Nährstoffen stellte nur ein Schüler dar. Gerade dieser Kreislauf ist für ein Verständnis der Nahrungsbeziehungen in dem Ökosystem sehr entscheidend, was zeigt, dass das Verständnis der Schüler über den Nährstoffkreislauf vor dem Projekt sehr gering war. Bis zum Zwischentest stieg die Zahl der Schüler, die einen bakteriellen Abbau organ. Stoffe (toter Lebewesen bzw. Ausscheidungen von Lebewesen) dargestellt haben an (s. Tabelle 63). Dabei stellten die meisten Schüler gleichzeitig eine Nährstofffreisetzung und einen entsprechenden Nährstoffkreislauf dar, indem die Lebewesen des Phytoplanktons die abgebauten Nährstoffe wieder aufnehmen. Das bedeutet, dass die Schüler in der ersten Hälfte des Projekts ein höheres Verständnis über das Ökosystem erreicht haben. Die Wissensentwicklung vom Zwischentest zum Post-Test war qualitativ (s. a.

¹²¹ Es gibt eine Ausnahme: Schüler CAHA stellte dar, dass Fische die Ionen NH_4^+ und NO_3^- aus dem Wasser aufnehmen.

Fachkonzept Fotosynthese und Nährstoffe): Nicht die Anzahl an Schülern ist gestiegen, die einen Nährstoffkreislauf darstellen, jedoch die Anzahl an Schülern, die präzise darstellt, dass die Lebewesen des Phytoplanktons als Nährstoff NO_3^- dem NH_4^+ bevorzugen.

In dem Konzept Nährstoffkreislauf finden sich in den CM der meisten Schüler falsche Kanten (s. Tabelle 61). Einzelne Schüler hatten stabile Fehlkonzepte, das sind falsche Kanten, welche diese Schüler vom ersten bis zum dritten Messzeitpunkt in ihren CM dargestellt haben. Diese Fehlkonzepte beziehen sich auf das Verständnis über organ. N-Verbindungen. So finden sich stabile Darstellungen darüber, dass die organ. N-Verbindungen im Sediment entstehen bzw. dass die organ. N-Verbindungen vom Sediment abgegeben werden. Außerdem finden sich stabile Darstellungen darüber, dass sich die organ. N-Verbindungen im Wasser zu den Ionen NO_3^- und NH_4^+ lösen. Darüber hinaus zeigen sich insbesondere im Vorwissen der Schüler falsche Kanten in Bezug auf den Kreislauf der organ. N-Verbindungen. Der Kreislauf wurde von einzelnen Schülern¹²² als zur Atmosphäre hin offener Kreislauf dargestellt, in dem die Ionen NO_3^- und NH_4^+ aus dem Wasser an die Atmosphäre abgegeben werden. Hier lag offenbar das Fehlkonzept vor, dass organ. N-Verbindungen elementare Stickstoff Verbindungen (N_2) sind.

IV.3.4.8 Nitrifikation

Vorwissen über die Nitrifikation brachte kein Schüler mit in das Projekt. Bis zum Zeitpunkt des Zwischentests zeigt sich auch keine Wissensentwicklung (s. a. Kap. VII.6.2.8 und Tabelle 63). Dieses Fachkonzept wurde nur von einzelnen Schülern gelernt. Einem Teil der Schüler waren relevante Elemente der Nitrifikation bekannt, denn sie stellen dar, dass mithilfe von Bakterien aus NH_4^+ NO_3^- gebildet wird. Vollständig stellte allerdings nur ein Schüler die Nitrifikation dar. Die Untersuchung der falschen Kanten zeigt, dass die Schüler mit dem Verwenden der Fachbegriffe Probleme hatten. Außerdem zeigt sich, dass der chemische Prozess der Nitrifikation zum Teil nicht verstanden wurde, was sich in einer umgekehrten Darstellung der Nitrifikation abbildet, indem Bakterien aus NO_3^- NH_4^+ herstellen (s. Tabelle 62).

¹²² Eine derartige Darstellung findet sich auch noch im Post-Test.

IV.3.5 Zusammenfassung

Die qualitative Analyse beinhaltete die detaillierte Herausarbeitung der erfassten Inhalte und der vorkommenden fachwissenschaftlich falschen Kanten über die drei Messzeitpunkte zu ausgewählten Fachkonzepten der Nahrungsbeziehungen des Ökosystems Ostsee. Die Wissensentwicklung zeigte sich in den Ergebnissen der Auswertungen der einzelnen Schüler (s. Transkripte, Kap. VII.6.1) und der Gruppenanalyse (s. Kap. VII.6.2) sehr deutlich, deren zentrale Tendenzen zusammengefasst wurden (s. Kap. IV.3.4.1 bis Kap. IV.3.4.8). Die Ergebnisse dazu, welche Fachkonzepte die Schüler gelernt und verstanden haben, zeigten, dass die Schüler einzelne Fachkonzepte gar nicht gelernt bzw. verstanden haben. Das gilt für den Gasaustausch zwischen der Atmosphäre und dem Wasser (s. Kap. IV.3.4.1) und für die mikrobielle Schleife (s. Kap. IV.3.4.6). Demgegenüber zeigte sich ein starker Wissenszuwachs über die Konzepte Fotosynthese und Nährstoffe (s. Kap. IV.3.4.2) sowie die einfache Nahrungskette (s. Kap. IV.3.4.5), was sich in entsprechenden Abnahmen der falschen Kanten widerspiegelt. Die fachwissenschaftlich falschen Darstellungen nahmen im Bereich des Konzepts Fotosynthese und Nährstoffe sehr stark ab, bis auf keine falschen Kanten¹²³ (s. S. 325, Tabelle 57). Das zeigte, zusammen mit den erfassten Inhalten, dass die Schüler ein hohes Maß an Verständnis über diese Konzepte erreicht haben.

Im Bereich des Fachkonzepts Nährstoffkreislauf kam es zu einer deutlichen Wissenszunahme (s. Kap. IV.3.4.7). Über die Hälfte der Schüler erreichten ein sehr ausgeprägtes Verständnis darüber. Die stabilen Fehlkonzepte einzelner Schüler zeigten aber, dass ihr Verständnis über organ. N-Verbindungen fachwissenschaftlich nicht richtig war (s. S. 332, Tabelle 61). Außerdem zeigte sich, dass die Nitrifikation zwar teilweise von einzelnen Schülern vom Zwischentest zum Post-Test gelernt wurde, jedoch vollständig fachwissenschaftlich richtig nur von einem Schüler (s. Kap. IV.3.4.8). Das bedeutet, dass es den Schülern noch an spezifischem Wissen über den Nährstoffkreislauf, in dem Fall den Stickstoffkreislauf, gemangelt hat.

Die Respiration heterotropher Lebewesen war am Projektende allen Schülern bekannt (s. Kap. IV.3.4.4), wobei nur einzelne Schüler gelernt haben, dass die Lebewesen des Phytoplanktons neben der fotosynthetischen Sauerstoffproduktion auch selber Sauerstoff aufnehmen und Kohlendioxid abgeben (Respiration des Phytoplanktons, s. Kap. IV.3.4.3).

¹²³ Im Post-Test zeigte sich nur noch eine nicht eindeutig falsche Kante bei einem Schüler.

V. Diskussion

Im Folgenden werden die eingangs gestellten Forschungsfragen (s. Kap. II.5) und zugrunde liegenden Hypothesen auf der Basis der vorgelegten Ergebnisse diskutiert. Die erste übergeordnete Forschungsfrage lautete:

Fördert die Durchführung von Schülerprojekten in NaT-Working „Meeresforschung“ bei den teilnehmenden Schülern das Interesse?

Ziel war es am Beispiel zweier Gruppenprojekte in NaT-Working „Meeresforschung“, die zum Thema Ökosystem Ostsee ein Schülerprojekt durchgeführt haben, potenzielle Einflussvariablen für die Interessenentwicklung aufzuklären. Die Untersuchung des Interesses war als Fragebogenerhebung in einem Pre-Post-Test Design quantitativ angelegt. Sie beinhaltete das Interesse der Schüler an Naturwissenschaften und Projektthemen, einem naturwissenschaftlichen Schulfach sowie einem naturwissenschaftlichen Beruf. Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Untersuchung des Schulfach- und Berufsinteresses diskutiert und anschließend die Ergebnisse des Interesses der Schüler an den Projektthemen.

V.1 Schulfach- und Berufsinteresse [H.1.1 und H.1.2]

Die Untersuchung des **Schulfachinteresses** der Schüler, die ein Projekt in NaT-Working „Meeresforschung“ durchgeführt haben, zeigte an einer relativ kleinen, jedoch repräsentativen Stichprobe (N= 36), dass sich mit außerschulischen Projekten, wie NaT-Working „Meeresforschung“, das Interesse der Schüler an einem naturwissenschaftlichen Schulfach fördern lässt. Diese Interessenförderung war nach Schülerangaben auf die Methode der Wissensvermittlung zurückzuführen, beispielsweise auf die Zusammenarbeit mit den Wissenschaftlern und die Gruppenarbeiten mit den Mitschülern. Außerdem war die Interessenförderung nach Schülerangaben auf den subjektiv erlebten allgemeinen und spezifischen Wissenszuwachs zurückzuführen.

Demnach konnte die Hypothese **H.1.1**, „mit der Teilnahme an einem NaT-Working Projekt steigt das Fachinteresse der Schüler“, bestätigt werden.

Die Schülerangaben darüber, warum sich ihr Schulfachinteresse vergrößert hat, unterstreichen, dass die außerschulische Lernumgebung die Anforderungen einer interessenfördernden Lernumgebung erfüllt hat, deren Charakteristika unter anderem die wahrgenommene Autonomie (das selbstständige Arbeiten), das Ausmaß an Einbindung in die Expertenkultur (die Zusammenarbeit mit Experten) und die Bereitstellung von herausfordernden Aufgaben (die Bearbeitung von Forschungsfragen) sind (Deci & Ryan, 1993; Wild et al., 2001). Mit dem Erleben eines subjektiven Wissenszuwachses wurde das Kompetenzerleben der Schüler gefördert, was zusammen mit den oben genannten Merkmalen unterstreicht, dass es sich in NaT-Working „Meeresforschung“ um eine interessenfördernde Lernumgebung handelt.

Das Schulfachinteresse nimmt bei Schülern von der Unterstufe zur Oberstufe hin, insbesondere in den naturwissenschaftlichen Fächern, ab. Gründe dafür wurden umfassend untersucht (Gardner, 1985; Hoffmann et al., 1998; Krapp, 1998; Kögel et al., 2000; Krapp, 2002a). Die Gestaltung der Lernumgebung mit den darin ausführbaren Handlungsmöglichkeiten in authentischen Lernsituationen ist, wie auch die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, besonders bedeutsam für die Förderung von Schülerinteressen (Collins, 1991; Deci & Ryan, 1993; Honebein et al., 1993; Hartinger, 1997). Kögel et al. (2000) haben in ihrer Interviewstudie mit Schülern der Sek II herausgearbeitet, dass sich 30% der Schüler als Informationsquelle für ihren Wissenserwerb Experten wünschen und weitere 30% das Internet. Tatsächlich nutzen allerdings nur 2% die Expertise von z. B. Wissenschaftlern und 3% das Internet dafür. Diese Diskrepanz ist in außerschulischen Projekten wie NaT-Working „Meeresforschung“ nicht gegeben: Hier erhalten Schüler Informationen von Wissenschaftlern, denn die Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern ist fester Bestandteil der Projekte. Außerdem werden die Schüler dazu aufgefordert im Internet eigenständig zu recherchieren und die selbst ermittelten Daten kritisch zu prüfen. Das bedeutet, dass Projekte wie NaT-Working „Meeresforschung“ nicht nur einer Interessenabnahme an naturwissenschaftlichen Schulfächern positiv entgegen wirken, sondern das Interesse der Schüler an diesen Fächern fördern.

Demgegenüber zeigte die Untersuchung des Einflusses einer Projektteilnahme auf die **Berufsorientierung** der Schüler in Bezug auf einen naturwissenschaftlichen Beruf, dass diese weitestgehend unbeeinflusst geblieben ist. Dieser Befund ist darauf zurückzuführen, dass die Schüler bereits vor dem Projekt einen festen Berufswunsch hatten oder sich mit der Frage nach dem künftigen Beruf noch nicht auseinandergesetzt haben.

Demnach konnte die Hypothese **H.1.2**,
 „mit der Teilnahme an einem NaT-Working Projekt steigt das Interesse
 an einem naturwissenschaftlichen Beruf“, nicht bestätigt werden.

V.2 Interesse an Projektthemen mit Einflussvariablen

Das Interesse an Projektthemen wurde als „durch das Projekt induziertes Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen“ im Post-Test erhoben und als aktualisiertes individuelles Interesse in die relationale Interessenstruktur von Krapp (s. Abb. 1) integriert. Das Interesse an Projektthemen war bei den Schülern der Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs) zwar positiv, es war aber bei den Projektkursschülern höher als bei den Schülern des Bio-LK (s. Abb. 17). Als potenzielle Einflussvariablen für die Entwicklung dieses Interesses an Projektthemen wurden sowohl individuelle Faktoren untersucht als auch Faktoren der Lernumgebung. Als individuelle Faktoren wurden das Interesse der Schüler an Naturwissenschaften (individuelles Interesse) sowie das Selbstkonzept der Schüler im Fach berücksichtigt. Die Faktoren der Lernumgebung wurden als Interessantheit der Lernumgebung untersucht, dabei wurde unterschieden zwischen Projektfaktoren und Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens.

Hängt die Ausprägung des längerfristigen Interesses an der Beschäftigung mit Projektthemen bei den Schülern von ihrem Interesse an Naturwissenschaften ab, das sie bereits vor Projektbeginn haben?

V.2.1 Interesse an Naturwissenschaften [H.2.1]

Das Interesse an Naturwissenschaften wurde im Pre-Test als das „Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften“ erhoben und als individuelles Interesse in die relationale Struktur der Interessenvariablen nach Krapp (s. Abb. 1) eingeordnet. Der Vergleich der beiden untersuchten Projekte zeigte, dass das Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse) bei den Schülern des Bio-LK höher war als das Interesse der Schüler des Projektkurses (s. Abb. 18). Die Korrelationsanalyse¹²⁴ zwischen dem individuellen Interesse und dem aktualisierten individuellen Interesse zeigte erwartungsgemäß, dass die beiden Interessen der Schüler in einem engen Zusammenhang standen (s. S. 116).

Demnach konnte die Hypothese **H.2.1**,
„das durch das Projekt induzierte Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen ist desto größer, je höher das Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften ist, das die Schüler bereits vor ihrer Projektteilnahme entwickelt haben“, bestätigt werden.

Für die Entwicklung von Interesse ist neben der Interessantheit der Lernumgebung das individuelle Interesse bedeutsam (Krapp, 1992a; s. a. Abb. 1). Übertragen auf die vorliegende Studie bedeutet das, dass das Interesse an Naturwissenschaften, das die Schüler als individuelles Interesse bereits vor dem Projekt ausgebildet haben, für die Entwicklung eines Interesses an den Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse) möglicherweise sehr bedeutsam ist.

¹²⁴ In der vorliegenden Arbeit wurden Korrelationsanalysen durchgeführt, die der Stichprobengröße und Datenverteilung angemessen sind (Details s. Kap. III.4.2.2).

Als weitere unabhängige Einflussvariable für die Entwicklung des Interesses an Projektthemen wurde das Selbstkonzept der Schüler im Fach¹²⁵ im Pre-Test erhoben und folgende Forschungsfrage untersucht:

Besteht ein positiver Zusammenhang zwischen dem Interesse und dem Selbstkonzept?

V.2.2 Selbstkonzept im Fach [H.2.2.A und H.2.2.B]

Der Vergleich der beiden Kurse zeigte, dass das Selbstkonzept der Schüler im Fach zum einen sehr hoch und zum anderen ähnlich ausgeprägt war (s. Abb. 19). In der vorliegenden Studie zeigte sich erwartungsgemäß ein enger Zusammenhang zwischen dem Selbstkonzept im Fach und dem individuellen Interesse (s. S. 117).

Die Hypothese **H.2.2.A**,
„je höher das Selbstkonzept im Fach ist, desto größer ist das Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften“, konnte demnach bestätigt werden.

Der Studie lag die Annahme zugrunde, dass sich das Selbstkonzept einer Person in Bezug auf einen Interessengegenstand auf der Basis bedeutsamer Person-Gegenstands-Bezüge entwickelt und spezifiziert (Todt, 1990; Krapp, 1992a; Krapp, 2001). Weiterhin wurde angenommen, dass sich die Entwicklung des Selbstkonzepts und des Interesses gegenseitig beeinflussen (Hannover, 1996). Das untersuchte Interesse in der vorliegenden Studie ist ein epistemisches Interesse, somit wurde das Selbstkonzept im Fach erhoben, also die Selbsteinschätzung der eigenen Lern- und Leistungsfähigkeit in diesem Fach. In Anlehnung an Köller et al. (2000) wurde Interesse als ein zentraler Bestandteil des Selbstkonzepts einer Person angesehen. Diese Autoren konnten hoch positive und signifikante Korrelationen zwischen dem Selbstkonzept der Begabung von Schülern im Fach Mathematik und dem Interesse der Schüler an Mathematik nachweisen ($r = 0.59-0.69$). Hoffmann et al. (1998) zeigten, dass das Persönlichkeitsmerkmal „Selbstkonzept in Bezug auf das Fach Physik“ eine signifikante Prädiktorvariable für ihre untersuchten Interessensvariablen ist, insbesondere für das Fachinteresse an Physik und das Freizeitinteresse an Physik. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigten, im Anschluss an die genannten Autoren, dass das untersuchte Selbstkonzept der Schüler im Zusammenhang mit dem Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse) steht, das die Schüler bereits vor dem Projekt haben.

Es stellte sich weiterhin die Frage, ob das Selbstkonzept im Fach auch im Zusammenhang mit dem Interesse an den Projektthemen steht. Das würde nämlich bedeuten, dass die Schüler ihr Interesse an Projektthemen mit ihren Selbsteinschätzungen der eigenen Fähigkeiten verbinden, einen Inhalt in dem Fach, in welches das Projekt eingebunden ist, zu lernen.

Die Ergebnisse zeigten jedoch keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Selbstkonzept im Fach und dem Interesse an den Projektthemen (s. S. 117).

¹²⁵ Hier ist das Schulfach gemeint, in welches das Projekt eingebunden war. Bei den Schülern des Bio-LK ist es entsprechend das Fach Biologie und bei den Schülern des Projektkurses das Fach Projektkurs.

Die Hypothese **H.2.2.B**,

„je höher das Selbstkonzept im Fach ist, desto größer ist das durch das Projekt induzierte Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen“, konnte somit nicht bestätigt werden.

Das bedeutet, dass die Schüler ihr Interesse an Projektthemen (noch) nicht mit ihrem Selbstkonzept verknüpft haben und umgekehrt, dass die Ausbildung des Interesses an Projektthemen in keinem Zusammenhang mit dem Selbstkonzept der Schüler im Fach gestanden hat.

Als potenzielle Einflussvariable für das Interesse an Projektthemen konnte das Interesse an Naturwissenschaften, das die Schüler bereits vor dem Projekt haben, aufgeklärt werden (s. Hypothesenprüfung H.2.1, S. 167). Das Selbstkonzept im Fach zeigte sich nicht als direkte potenzielle Einflussvariable für die Ausbildung des Interesses an Projektthemen. Das Selbstkonzept im Fach war aber möglicherweise indirekt bedeutsam, da es in einem engen Zusammenhang mit dem Interesse an Naturwissenschaften gestanden hat.

Als potenzielle Einflussvariable für die Entwicklung eines Interesses an Projektthemen wurde über das individuelle Interesse und das Selbstkonzept der Schüler hinaus die Interessantheit der Lernumgebung untersucht, darunter ausgewählte Projektfaktoren und Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen im Projekt. Über die Aufklärung etwaiger Zusammenhänge zwischen der Interessantheit der Lernumgebung und dem individuellen bzw. dem aktualisierten individuellen Interesse hinaus war es Ziel der Studie, Mediatorvariablen für den Zusammenhang zwischen diesen Interessenvariablen aufzuklären.

Fördert die Interessantheit der Lernumgebung das Interesse an Projektthemen?

V.2.3 Interessantheit der Lernumgebung als Einflussvariable für das Interesse an Projektthemen

V.2.3.1 Projektfaktoren [H.2.3.1.A und H.2.3.1.B]

Die Projektfaktoren wurden in der Gesamtstichprobe, also von den Schülern des Bio-LK und den Schülern des Projektkurses, positiv bewertet (s. Kap. IV.1.3.2.A). Besonders hoch wurden die innere Kohärenz des Projekts und die Zufriedenheit über das Lernmanagement sowie das Eingehen auf Schülerfragen und –wünsche beurteilt. Letzteres stand in einer wechselseitig positiven Beziehung zum Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse) und zum Interesse an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse), wirkte dabei aber nicht als Mediatorvariable (s. Tabelle 10).

Die Hypothese **H.2.3.1.A**,

„je höher das Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften ist, desto besser werden die Projektfaktoren bewertet“,
konnte somit für die Bewertung des Eingehens auf Schülerfragen und –wünsche bestätigt werden.

Für das Interesse an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse) zeigte sich in der vorliegenden Studie das Projektklima als potenzielle Einflussvariable der Lernumgebung (s. Tabelle 10).

Die Hypothese **H.2.3.1.B**,

„je besser die Projektfaktoren bewertet werden, desto höher ist das durch das Projekt induzierte Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen“,
konnte demnach für das Projektklima bestätigt werden.

Die Bedeutsamkeit eines positiven Lern- und Arbeitsklimas für das Ausmaß des Interesses von Lernern zeigte sich auch in anderen Studien (Eder, 1992; Hoffmann et al., 1998; Wild et al., 2001). Das Interesse der Schüler an Projektthemen war bei den Schülern des Bio-LK nach dem Projekt deutlich niedriger als bei den Schülern des Projektkurses (s. Abb. 17b). Der deskriptive Vergleich der beiden Kurse unterstreicht die mögliche Bedeutung des Projektklimas für die Entwicklung des Interesses an Projektthemen, denn das Projektklima wurde von den Schülern des Bio-LK niedriger bewertet als von den Schülern des Projektkurses (s. Abb. 20b).

In der vorliegenden Studie zeigte sich außerdem, dass das Eingehen auf Schülerfragen und Schülerwünsche im Zusammenhang mit den Interessen steht (s. Tabelle 10). Die Korrelation mit dem Interesse an Projektthemen war zwar nicht signifikant, doch zeichnet sich darin ein Trend ab, in dem dieser Projektfaktor möglicherweise bedeutsam für die Interessenentwicklung an Projektthemen ist (s. a. Hoffmann et al., 1998). Gestützt wird diese Interpretation durch die Person-Gegenstandstheorie des Interesses nach Krapp (1992a) und Prenzel (1988a). Hierin wird postuliert, dass die Entstehung, Aufrechterhaltung und Veränderung von Interessen unter anderem von der Möglichkeit zur Befriedigung der Bedürfnisse nach Selbstbestimmung und Kompetenzerfahrung bestimmt wird¹²⁶ (Deci & Ryan, 1993; Ryan & Deci, 2000). Schüler, die ihre Fragen und Wünsche äußern können, erfahren ein hohes Maß an Selbstbestimmung, woraus eine Interessenförderung resultieren kann.

Abgesehen von dem Zusammenhang zwischen einem zufriedenstellenden Ausmaß, Fragen und Wünsche äußern zu können, sowie der Zufriedenheit über das Projektklima und dem Interesse an Projektthemen, zeigten sich keine Korrelationen zwischen weiteren Projektfaktoren und diesem Interesse (s. Tabelle 10). Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, werden im Folgenden in Anlehnung an Goodwin und Leech (2006) verschiedene Faktoren berücksichtigt, die insbesondere in kleinen Stichproben die Stärke von Korrelationen (r)

¹²⁶ Von zentraler Bedeutung für das Interesse ist außerdem die Befriedigung des Bedürfnisses nach sozialer Eingebundenheit.

beeinflussen können. Die Variabilität der Datensätze hat einen entscheidenden Einfluss auf die Stärke der Korrelation (r) (Bortz, 1999). Die Korrelation (r) ist umso größer, je größer die Variabilität der Datensätze ist. Wenn ein kleiner Wert für r auf eine geringe Variabilität zurückzuführen ist, so muss das nicht zwingend bedeuten, dass der Zusammenhang gering ist. In der vorliegenden Studie ist die Variabilität des Faktors zum Interesse an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesses) gering (s. Abb. 17a, Interquartilabstand= 0,61), was bei der Interpretation der Korrelationsanalysen berücksichtigt werden muss. Außerdem kann die Form der Datenverteilung einen Einfluss auf r haben (Goodwin & Leech, 2006). Je unähnlicher die Form der Datensätze ist, desto geringer ist das Maximum von r . Die Form der Datenverteilung erschließt sich am besten aus Box-und-Whisker-Plots, wie sie in der vorliegenden Arbeit verwendet wurden. Hierin zeigt sich, dass sich die Form der Datenverteilung des Interesses an Projektthemen (s. Abb. 17a) sehr stark von der Form der Daten der inneren Kohärenz unterscheidet (s. Abb. 21a), deren Interquartilabstand deutlich größer ist (Interquartilabstand= 1,33) und deren Median in der Mitte der Box des Box-und-Whisker-Plots zu finden ist. Die Ergebnisse des deskriptiven Vergleichs der beiden Projekte zeigten, dass die Schüler des Projektkurses die innere Kohärenz ihres Projekts deutlich positiver bewertet haben, als die Schüler des Leistungskurses (s. Abb. 21b). Unter Berücksichtigung der o. g. Einflussfaktoren auf den Korrelationskoeffizienten r kann somit aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung der relativ kleinen Stichprobe ein Trend aufgedeckt werden, in dem die innere Kohärenz für die Entwicklung eines Interesses an Projektthemen bedeutsam sein kann.

Die Datenverteilung der drei Faktoren des Projektmanagements zeigen ebenfalls eine deutlich größere Variabilität und andere Form der Daten als die des Interesses an Projektthemen, was sich möglicherweise negativ auf die Korrelationskoeffizienten ausgewirkt hat (vergl. Abb. 17a und Abb. 22a). Der Vergleich der beiden Projekte zeigte große Unterschiede in den Schülerbewertungen (s. Abb. 22b): Die Schüler des Bio-LK bewerteten die aktive Beteiligung an den Experimenten (Faktor B) deutlich schlechter als die Schüler des Projektkurses, welche die aktive Beteiligung an der Spielentwicklung bewertet haben. In dem Projektkurs war es offenbar gelungen, alle Schüler aktiv an der Arbeit zu beteiligen, was sich möglicherweise positiv auf das Interesse der Schüler an Projektthemen ausgewirkt hat.

Die Relevanz dieses Projektfaktors für die Interessenausprägung wird über die empirischen Befunde von Hoffmann et al. (1998) und der vorliegenden Arbeit hinaus durch die Bedeutung der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (1993) für die Interessenentwicklung gestützt, nach der die Befriedigung des Bedürfnisses nach Kompetenzerfahrung für das Interesse relevant ist (Prenzel, 1988a, Krapp, 1992a). Schüler, die sich aktiv an den Experimenten im Projekt beteiligen konnten, erlebten sich als kompetente Projektteilnehmer. Das Interesse der Schüler an Projektthemen war also umso höher, je höher ihre Kompetenzerfahrung darin war, dass sie sich aktiv an den Experimenten beteiligen konnten. Gleiches gilt für Schüler, die mit der inneren Kohärenz ihres Projekts zufrieden waren (s. o.). Sie erlebten sich als kompetente Projektteilnehmer, da sie während des gesamten Projektverlaufs einen Überblick über die bearbeiteten Themen behielten und Beziehungen zwischen den Themen der einzelnen Projektstage herstellen konnten.

Letztlich ließ sich statistisch signifikant einzig das Projektklima als potenzielle Einflussvariable für das Interesse an Projektthemen identifizieren. Darin bestätigte sich die Bedeutsamkeit des Projektklimas für die Interessenentwicklung, wie sie auch von anderen Autoren betont wurde (Eder, 1992; Hartinger, 1997; Hoffmann et al., 1998). Weiterhin konnten in der vorgelegten Studie im Anschluss an Hoffmann et al. (1998) Trends herausgearbeitet werden, in denen folgende Projektfaktoren ebenfalls bedeutsam für die Entwicklung des Schülerinteresses an Projektthemen sein könnten:

- Die Möglichkeit für Schüler Fragen und Wünsche zu äußern,
- die innere Kohärenz des Projekts und
- die aktive Beteiligung an den Experimenten im Projekt.

Die aus der Literatur bekannte Bedeutung der Befriedigung des Bedürfnisses nach Selbstbestimmung für das Interesse, das in der vorliegenden Studie als Zufriedenheit über die Möglichkeit Fragen und Wünsche zu äußern erhoben wurde, unterstreicht die Relevanz dieses Projektfaktors für die Entwicklung eines Interesses an Projektthemen. Ebenso bedeutsam für das Interesse ist die Befriedigung des Bedürfnisses nach Kompetenzerfahrung. In der vorliegenden Studie findet sich Kompetenzerfahrung in der Zufriedenheit über die aktive Beteiligung an den Experimenten und über die innere Kohärenz des Projekts wieder.

V.2.3.2 Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens [H.2.3.2.A und H.2.3.2.B]

Experimente und Schülerpraktika mit offenen Fragestellungen, wie sie zentraler Bestandteil von NaT-Working „Meeresforschung“ Projekten sind, zeigen sich als besonders geeignet für die Verbindung von Theorie und Praxis in der Lehre, für die Interessenförderung an Naturwissenschaften und die Förderung sozialer Kompetenzen sowie für das Lernen von Methoden naturwissenschaftlichen Denkens (Welzel et al., 1998). In der vorliegenden Studie wurde das Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen im Anschluss an die Dimension „Tätigkeiten“ des Sachinteresses von Hoffmann et al. (1998) in drei Kategorien untersucht:

- (T I) Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie,
- (T II) Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten und
- (T III) Interesse an instrumentellen Tätigkeiten.

Über die Ausprägung der Schülerinteressen an diesen Tätigkeiten hinaus wurden Zusammenhänge zum Interesse der Schüler an Naturwissenschaften und den Projektthemen geprüft.

Das Interesse der Schüler an der Beschäftigung mit der Theorie (T I) war positiv, dabei war das Interesse der Schüler des Projektkurses etwas höher als das der Schüler des Bio-LK (s. Abb. 24). Unter den Interessen der Schüler an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (T II) zeigten sich drei Faktoren (s. Abb. 25). Diese drei Faktoren entsprechen inhaltlich den drei Komponenten des kognitiven Modells der Kompetenz des Experimentierens von Klahr (2000). Hierbei war das Interesse der Schüler am Planen und Optimieren von Experimenten (T II B) deutlich höher als ihr Interesse an der Hypothesenbildung und –prüfung (T II A) sowie der Datenanalyse (T II C) (s. Abb. 25). Das Interesse der Schüler an instrumentellen Tätigkeiten (T III) war in der Gesamtstichprobe hoch, wobei der Vergleich der untersuchten Kurse zeigte, dass das Interesse der Schüler des Bio-LK am Erstellen und Präsentieren von Modellen (T III B) deutlich geringer war als das der Schüler des Projektkurses (s. Abb. 26).

Unter den Interessen an Tätigkeiten zeigte sich das Interesse am Planen und Optimieren von Experimenten (T II B) als bedeutsam für das Interesse der Schüler an Projektthemen (s. Tabelle 11).

Weiterhin konnte eine Mediatorvariable für den Zusammenhang zwischen dem Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse) und dem Interesse an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse) aufgeklärt werden: Das Interesse der Schüler an der Beschäftigung mit der Theorie (T I) ist eine Mediatorvariable für diesen Zusammenhang (s. Sobel-Teststatistik, S. 128), d. h. je höher das Interesse der Schüler an Naturwissenschaften (individuelles Interesse) war, desto höher war auch das Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie. Je höher das Interesse der Schüler an der Beschäftigung mit der Theorie im Projekt war, desto höher war auch ihr Interesse an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse). Außerdem zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse) und dem Interesse an der Hypothesenbildung und –prüfung (T II A) (s. Tabelle 11).

Die Hypothese **H.2.3.2.A**,

„je höher das Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften ist, desto höher ist das Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens“, konnte demnach bestätigt werden für ...

- das Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (T I) und
- das Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten, speziell an der Hypothesenbildung und –prüfung (T II A).

Die Hypothese **H.2.3.2.B**,

„je höher das Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens im Projekt ist, desto größer ist das durch das Projekt induzierte Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen“,

konnte bestätigt werden für

- das Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (T I) und
- das Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten, speziell am Planen und Optimieren von Experimenten (T II B).

Die Bedeutung der Tätigkeiten in einem Interesse geleiteten Lernprozess für das Interesse wurde vielfach betont (Hesse, 1984; Todt, 1990; Berck & Klee, 1992; Hartinger, 1997; Bayrhuber et al., 2002). Hoffmann et al. (1998) haben in ihrer groß angelegten Längsschnittstudie die Bedeutsamkeit von Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen in ihrer Untersuchung des Sachinteresses in der Physik zeigen können. Das Ausstehen der empirischen Absicherung der Kategorien dieser Tätigkeitsdimension des Sachinteresses wurde in der vorliegenden Studie zum Anlass genommen, diese - ausgehend von den Befunden von Hoffmann et al. (1998) - zu überarbeiten und entsprechend zu prüfen. Auf der Basis der vorgelegten Skalendokumentation der Vorstudie (s. Kap. VII.4) und Hauptstudie (s. Kap. III.4.1) und dem Einsatz eines Korrelationskoeffizienten, der für die Stichprobengröße und Verteilung der Testwerte geeignet ist (s. Kap. III.4.2.2), konnten die Korrelationsanalysen mit den drei Kategorien (T I bis T III) in der vorliegenden Arbeit zur Hypothesenprüfung dienen.

Hervorzuheben ist die Aufklärung einer Mediatorvariablen für den Zusammenhang zwischen dem Interesse an Naturwissenschaften und dem Interesse an Projektthemen, nämlich das Interesse der Schüler an der Beschäftigung mit der Theorie. Es stellt damit eine Schlüsselvariable für die Interessenentwicklung an Projektthemen dar. Die Förderung des Interesses der Schüler an der Beschäftigung mit der Theorie ist also besonders wichtig. Weiterhin ist die Förderung des Interesses an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten bedeutsam, speziell dem Planen und Optimieren von Experimenten, weil genau diese kognitiven Tätigkeiten in einem engen Zusammenhang mit dem Schülerinteresse an Projektthemen stehen.

Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, wurden auch hier mögliche Einflussfaktoren auf die Ausprägung des Korrelationskoeffizienten berücksichtigt (Goodwin & Leech, 2006), woraus sich weitere Trends ableiten ließen, in denen folgende Interessen an Tätigkeiten bedeutsam sind:

- Das Interesse an der Datenanalyse (T II C) und
- das Interesse der Schüler am Erstellen und Präsentieren von Modellen (T III B).

Wider der Erwartung zeigten sich keine Zusammenhänge zwischen den untersuchten Interessenvariablen (Interesse an Naturwissenschaften und Interesse an Projektthemen) und dem Interesse am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten (T III A, s. Tabelle 11).

Diese praktischen Tätigkeiten sind eine charakteristische Komponente der außerschulischen Lernumgebung von NaT-Working „Meeresforschung“ und ähnlichen Projekten. Mit dem Experimentieren in außerschulischer Lernumgebung und dem Kommunizieren der eigenen Arbeit mit der Öffentlichkeit bei Ausstellungen (z. B. an einem eigenen Stand bei dem Tag der offenen Tür des IFM-GEOMAR) soll das Interesse der Schüler an Projektthemen und den Naturwissenschaften gefördert werden. Die Untersuchung der vorliegenden Arbeit konnte eine potenzielle Interessenförderung mit dem Erstellen und Präsentieren von Modellen (T III B) als Trend zeigen (s. o.). Eine Erklärung für diesen Befund findet sich wieder in der Bedeutung der Kompetenzerfahrung für das Interesse (Deci & Ryan, 1993, Krapp, 1992a). Die Schüler erstellten Modelle ihrer Arbeit und präsentierten diese der Öffentlichkeit, wie echte Wissenschaftler. Wenn die Schüler daran interessiert waren, war das mit einem hohen Maß an Kompetenzerfahrung verbunden.

In der Zusammenfassung zeigten sich die Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen erwartungsgemäß als potenzielle Einflussvariablen für die Interessenentwicklung, doch waren es hauptsächlich die kognitiven Tätigkeiten, die mit einer Interessenförderung im Zusammenhang gestanden haben.

Die zweite übergeordnete Forschungsfrage, die der vorliegenden Studie zugrunde gelegt wurde, lautet:

Fördert die Durchführung von Schülerprojekten das Wissen über Meereskunde sowie das Verständnis für das Verhalten komplexer Systeme in der Natur?

Für die Untersuchung der Wissensentwicklung der Schüler und etwaiger Einflussvariablen auf den Wissensaufbau wurden zum einen die CM der Schüler der Gesamtstichprobe (Bio-LK und Projektkurs), die im Zwischentest erhoben worden sind, grafentheoretisch ohne Referenznetz ausgewertet. Zum anderen wurden die CM der Schüler des Bio-LK, von denen eine vollständig verbundene Stichprobe vorlag, mithilfe eines Referenznetzes transkribiert und mit dem Methodenmix ausgewertet, der sich aus qualitativen und quantitativen Methoden zusammensetzte. Zunächst werden die Ergebnisse der grafentheoretischen Auswertungen der untranskribierten CM der Gesamtstichprobe unter Herausarbeitung möglicher Einflussvariablen für die Wissensentwicklung diskutiert.

V.3 Wissen mit Einflussvariablen

Der Vergleich der beiden untersuchten Projekte (Bio-LK und Projektkurs) zeigte, dass Schüler des Bio-LK am Projektende zwar ein geringeres Faktenwissen aufwiesen, dass ihnen jedoch die Integration ihres Wissens deutlich besser gelungen ist als den Schülern des Projektkurses (s. Abb. 27 und Abb. 28). Das bedeutet, dass die Schüler des Bio-LK ein größeres Verständnis über den bearbeiteten Inhalt entwickelt haben als die Schüler des Projektkurses. Diese Interpretation basiert auf Ergebnissen der Expertiseforschung bzw. Forschungsarbeiten über CM als Erhebungsinstrument für Wissen und Verständnis (Novak, 1990; Novak & Wandersee, 1990; Novak & Musonda, 1991; Edmondson & Novak, 1993; Shavelson & Ruiz-Primo, 1999; Edmondson, 2000; Stracke et al., 2004). Für den Einsatz von CM als Wissensdiagnoseinstrument galten in der vorliegenden Studie folgende Vorannahmen:

- Das Lernen beeinflusst die kognitive Struktur,
- diese kognitive Struktur reflektiert die qualitativen Unterschiede im Verständnis und
- diese kognitive Struktur kann mithilfe von Concept Maps sichtbar gemacht werden.

Die Expertiseforschung hat gezeigt, dass die Wissensstruktur von Experten im Vergleich zu Novizen hoch strukturiert ist (Chi et al., 1988; Glaser, 1991). Das bedeutet, dass bei einem Verständnis über einen Inhalt die Relationen zwischen wichtigen Konzepten in der Domäne reichlich vorhanden sind (Novak, 1990; Wallace & Mintzes, 1990; Wandersee, 1990).

Nach Killermann (1998) und Bogner (1995) fördert biologische Freilandarbeit durch die Verknüpfung kognitiver und affektiver Elemente den kognitiven Lernerfolg bei Schülern. Weitere empirische Studien haben die Bedeutsamkeit des Freilandunterrichts für den Lernerfolg im Biologieunterricht unterstrichen, heben dabei aber auch die Relevanz labororientierten Arbeitens hervor (Müller, 1997; Dieckmann, 2003). In Nat-Working „Meeresforschung“ werden außerschulische Projekte angeboten, in denen Freiland- und Laborarbeiten in den Schulunterricht integriert werden. In dem Projekt des Bio-LK waren Freiland- und Laborarbeiten fester Bestandteil, wohingegen in dem Projekt des Projektkurses Textanalysen, selbstständige Recherche im Internet und Befragungen von Wissenschaftlern des IFM-GEOMAR im Vordergrund standen. Das höhere Strukturwissen und damit verbundene Verständnis über das Ökosystem Meer bzw. Ostsee der Schüler des Leistungskurses unterstreicht die Bedeutsamkeit der Freiland- und Laborarbeiten für den Lernerfolg bzw. die Entwicklung von Verständnis in einer Domäne.

Als potenzielle Einflussvariablen für den Wissensaufbau wurden – genau wie für die Entwicklung des Interesses an Projektthemen – individuelle Faktoren (das Interesse der Schüler und das Selbstkonzept im Fach) untersucht sowie Faktoren der Lernumgebung (die Interessantheit der Lernumgebung). Außerdem wurde der Einfluss des Vorwissens untersucht. Dies erfolgte, um folgende Frage aufzuklären:

Besteht ein positiver Zusammenhang zwischen dem Interesse und dem Wissen und Verständnis?

V.3.1 Interesse an Naturwissenschaften sowie Projektthemen [H.4.A und H.4.B]

Die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Wissen und Interesse der vorliegenden Studie zeigte einen Trend, in dem das Strukturwissen der Schüler umso integrierter war, je höher das Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse) war (s. Tabelle 19). Nach Weinert (1986) entsteht Interesse an bestimmten Inhalten vor allem durch Wissen über diese Inhalte. Andere Forscher interpretieren den Zusammenhang umgekehrt und zwar in dem Sinne, dass Wissen durch Interesse an den Inhalten bzw. Interesse geleitete Lernprozesse entsteht (Renninger et al., 2002). In Korrelationsanalysen zwischen Interesse und Leistung zeigt sich eine Durchschnittskorrelation von $r = 0.3$ (U. Schiefele et al., 1993). Je höher das individuelle Interesse ist, desto höher ist auch die Aufmerksamkeit, die Ausdauer sich mit einem Thema zu beschäftigen und das aufgebaute Wissen (Prenzel, 1988a; Renninger, 1990; Ainley, 1996; U. Schiefele, 1996c; Ainley et al., 2002; Hidi et al., 2002). Interesse, insbesondere individuelles Interesse, wirkt sich stärker auf qualitativ-strukturelle Kriterien aus als auf einfache quantitative Kriterien des Lernerfolgs (Krapp, 1992a). Die Korrelationen zwischen dem Strukturwissen und dem individuellen Interesse in der vorliegenden Studie waren nicht signifikant und klärten auch, im Vergleich zu den durchschnittlichen Korrelationen zwischen Interesse und Leistung, eine etwas geringere Varianz auf. Wahrscheinlich ist das Ausbleiben von Signifikanzen auf die relativ kleine Stichprobengröße zurückzuführen. Ein Zusammenhang, in dem die Entwicklung eines Verständnisses in der Domäne in einer positiven Beziehung mit dem individuellen Interesse steht, konnte trotzdem als Trend interpretiert werden. Dieser Trend wurde auch darin gestützt, dass die entsprechenden Korrelationen mit dem Faktenwissen deutlich niedriger waren (s. Tabelle 19).

Die Hypothese **H.4.A**,

„je größer das Informationsinteresse in der Freizeit an Naturwissenschaften ist, desto höher ist das Wissen und Verständnis in der im Projekt behandelten Wissensdomäne ausgebildet“, konnte demnach für das Faktenwissen nicht bestätigt werden. Für das Strukturwissen (Verständnis) konnte sie als Trend bestätigt werden.

Zwischen dem Interesse der Schüler an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse) und dem Fakten- und Strukturwissen in der Domäne zeigten sich keine Korrelationen (s. Tabelle 19). In Anlehnung an Wild et al. (2001) könnte das Ausbleiben einer Korrelation zwischen dem Faktenwissen und dem Interesse damit erklärt werden, dass der Aufbau von Faktenwissen nicht unbedingt zu einer elaborierten Wissensstruktur führt. Nach Wild et al. (2001) korrelieren Interesse und Leistung nämlich nur dann, wenn für den Lernerfolg eine elaborierte Wissensstruktur erforderlich ist, denn die ist nur von interessierten Schülern zu erwarten. Es bleibt jedoch offen, warum sich keine Korrelation zwischen dem Strukturwissen und dem Interesse an Projektthemen gezeigt hat.

Die Hypothese **H.4.B**,
„je größer das durch das Projekt induzierte Informationsinteresse in der Freizeit an Projektthemen ist, desto höher ist das Wissen und Verständnis in der im Projekt behandelten Wissensdomäne ausgebildet“, konnte demnach nicht bestätigt werden.

Weiterhin wurde folgende Frage untersucht:

Gibt es einen positiven Zusammenhang zwischen dem Selbstkonzept und dem Wissen und Verständnis?

V.3.2 Zusammenhang zwischen dem Selbstkonzept im Fach und dem Wissen und Verständnis [H.3.3]

Das Selbstkonzept im Fach zeigte sich in der vorliegenden Studie für den Aufbau von Faktenwissen als potenzielle Einflussvariable (s. Tabelle 13). Darüber hinaus zeigte sich das Selbstkonzept im Fach in einem negativen Zusammenhang mit den Fehlkonzepten. Die Korrelation zwischen dem Selbstkonzept im Fach und dem Strukturwissen war dagegen vergleichsweise gering, lag jedoch über der Durchschnittskorrelation zwischen Selbstkonzept und Leistung anderer Studien. Wenn die gezeigten Korrelationen auch nicht zweiseitig signifikant waren, so ließen sich entsprechende Trends ableiten, zumal sich die Korrelationskoeffizienten in der Größenordnung der Durchschnittskorrelationen von größer angelegten Studien befunden haben.

Die Hypothese **H.3.3**,
„je größer das Selbstkonzept im Fach ist, desto elaborierter ist das Wissen über das Projektthema“, konnte somit als Trend bestätigt werden.

Dieser Trend zeigte sich besonders in den Ergebnissen des Zusammenhangs zwischen den fachwissenschaftlich richtigen Kanten (KAN R) und dem Selbstkonzept und fand sich in der negativen Korrelation zwischen den Fehlkonzepten (KAN F) und dem Selbstkonzept bestätigt.

Der Zusammenhang zwischen dem Wissen und dem Selbstkonzept findet sich in Korrelationsanalysen vielfach bestätigt (Köller et al., 2000). In der Studie von Hansford und Hattie (1982) wurden 1136 Korrelationen zwischen Selbstkonzept und Leistung untersucht, wovon 944 positiv und 170 negativ waren (in 22 zeigte sich keine Korrelation) mit einer Range von $r = -0.77$ bis $r = +0.96$ und einer Durchschnittskorrelation von $r = 0.21$ ¹²⁷.

¹²⁷ In einer Metaanalyse von Fraser et al. (1987) zeigte sich eine Durchschnittskorrelation zwischen Selbstkonzept und Leistung von $r = 0.12$ (SD= 0.06).

Die Stärke der Korrelation hängt ab von der Art des erhobenen Selbstkonzepts. Die Korrelation des Selbstkonzepts der eigenen Fähigkeit war dabei in der Studie von Hansford und Hattie (1982) mit einer Durchschnittskorrelation von $r = 0.42$ am höchsten.

Die Korrelationsanalysen der vorliegenden Studie bestätigen im Anschluss an bereits bekannte Untersuchungen, wie den oben genannten, dass das Selbstkonzept der Schüler im Fach, das die Schüler bereits vor dem Projekt ausgebildet haben, als unabhängige Einflussvariable für den Wissensaufbau relevant ist. Ob es sich tatsächlich um eine Einflussvariable handelt muss in Folgestudien mithilfe einer größeren Stichprobengröße geprüft werden. Inwieweit die Interessantheit der Lernumgebung bedeutsam ist, wird im Folgenden diskutiert. Vorher wird die Untersuchung der Bedeutung des Vorwissens erörtert.

V.3.3 Zusammenhang zwischen dem Vorwissen und dem Wissen und Verständnis [H.3.1.3]

Die Untersuchung der Wissensentwicklung erfolgte in der vorliegenden Studie in dem Bio-LK (N= 10). Dieser Leistungskurs bestand aus 16 Schülern, die ein Projekt über 8,5 Monate durchgeführt haben (zur Stichprobe s. Kap. III.1, zum Projektablauf s. Kap. III.6.1). In die Auswertungen der Wissensentwicklung konnten nur zehn Schüler aufgenommen werden, da nur von diesen Schülern eine vollständig verbundene Stichprobe vorlag. Zu diesem Schwund kam es, weil Schüler an einzelnen Messzeitpunkten verhindert waren und zeitnah nicht für eine Erhebung erreichbar waren. Die Ergebnisse der Wissensentwicklung zeigten erwartungsgemäß einen Trend, in dem das Vorwissen möglicherweise bis zum Projektende für den Aufbau von Faktenwissen bedeutsam war. Es zeigten sich sowohl signifikante Korrelationen zwischen dem Vorwissen und dem Wissen, erhoben im Zwischentest (s. Tabelle 23), als auch zwischen dem Vorwissen und dem Faktenwissen, das im Post-Test erhoben worden war (s. Tabelle 24). Für das Strukturwissen zeigte sich ein etwas anderes Ergebnis: Das Vorwissen war auch hier möglicherweise für den Wissensaufbau bedeutsam, doch für den weiteren Wissensaufbau war das im Projekt aufgebaute Wissen bedeutsam und nicht das Vorwissen, das die Schüler mit in die Projektarbeit gebracht hatten (s. Tabelle 25 bis Tabelle 27).

Die Hypothese **H.3.1.3**,
„je größer das Vorwissen in der Domäne ist,
desto höher ist das aufgebaute Wissen“, konnte demnach bestätigt werden.

Nach Ausubel et al. (1980) ist der wichtigste Faktor, der das Lernen beeinflusst, das, was der Lernende bereits weiß. Die Bedeutung des Vorwissens für den Wissensaufbau ist vielseitig belegt (Weinert, 1986; Alexander et al., 1994; Pearsall et al., 1997). Für Schüler mit geringem Vorwissen kann die Gestaltung der Lernumgebung bedeutsamer für den Lernerfolg sein als für Schüler mit hohem Vorwissen (Ozgungor & Guthrie, 2004). Die Stichprobengröße der vorliegenden Studie ließ keine derartige Gruppenuntersuchung zu. Die Ergebnisse zeigen aber, dass sich die Rolle des Vorwissens für verschiedene Qualitäten des Wissens unterscheidet. Die interpretierten Korrelationskoeffizienten liegen dabei deutlich über den

Durchschnittskorrelationen zwischen Interesse und Leistung und sind zum Teil hoch signifikant (Faktenwissen s. Tabelle 23, Tabelle 24 und Strukturwissen s. Tabelle 27). Schüler, die in Bedeutungszusammenhängen lernen, versuchen das *neue* Wissen zu integrieren. Sie wählen relevante Elemente aus und bilden Verknüpfungen zwischen *neuem* Wissen und ihrem Vorwissen (Edmondson, 2000; Ossimitz, 2000a). Für das Faktenwissen scheint das Vorwissen der untersuchten Schüler bis zum Projektende bedeutsam gewesen zu sein. Für das Strukturwissen war das Vorwissen ebenfalls zunächst bedeutsam. Für den weiteren Aufbau von Strukturwissen war jedoch das bereits aufgebaute Strukturwissens relevant und nicht das Strukturwissen des Vorwissens. Das würde bedeuten, dass für den Aufbau von Strukturwissen das Vorwissen relevant ist. Für die Weiterentwicklung eines Verständnisses in der Domäne ist dann jedoch jeweils das erreichte Verständnis bedeutsam und nicht das Vorwissen, denn hier erfolgt die Integration des *neuen* Wissens in die Wissensstruktur, die bereits erreicht ist. Solche Kausalaussagen sind ausgehend von den durchgeführten Korrelationsanalysen nicht zulässig. Die Ergebnisse bieten aber eine interessante Ausgangsbasis für Folgestudien, in denen mithilfe von Regressionsanalysen - ausgehend von einer adäquaten Stichprobengröße - kausale Zusammenhänge aufgeklärt werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Korrelationsanalysen zwischen dem Wissen und der Interessantheit der Lernumgebung Aufschluss über einen potenziellen Einfluss der Lernumgebung auf den Aufbau verschiedener Wissensqualitäten geben. Durchgeführt wurde diese Untersuchung ausgehend von folgender Frage:

Besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Interessantheit der Lernumgebung und dem Wissen und Verständnis?

V.3.4 Zusammenhang zwischen der Interessantheit der Lernumgebung und dem Wissen und Verständnis

V.3.4.1 Zusammenhang zwischen den Projektfaktoren und dem Wissen und Verständnis [H.3.4.1]

In den durchgeführten Korrelationsanalysen zeigten sich zwischen dem Fakten- sowie Strukturwissen und den Projektfaktoren, mit Ausnahme der inneren Kohärenz des Projekts, keine signifikant positiven Korrelationen. Demgegenüber zeigten sich zum Teil sehr hohe und signifikant negative Korrelationen zwischen den Projektfaktoren und den Fehlkonzepten (KAN F) (s. Tabelle 14).

Die Hypothese **H.3.4.1**,
„je besser die Projektfaktoren bewertet werden, desto höher ist das Wissen und Verständnis in der im Projekt behandelten Wissensdomäne ausgebildet“,
konnte somit nicht bestätigt werden.

Es sei aber betont, dass eine Abnahme an Fehlkonzepten indirekt zur Erhöhung der Qualität des Wissens beiträgt. Nach Novak und Gowin (1984) ist die Wissenszunahme als Füllen von Wissenslücken zu verstehen und damit auch indirekt an eine Abnahme an Fehlkonzepten geknüpft. Die negativen Korrelationen zwischen den Projektfaktoren und den Fehlkonzepten (KAN F) bedeuten also, dass die Gestaltung der Lernumgebung insbesondere zur Vermeidung der Fehlkonzepte beigetragen haben kann.

V.3.4.2 Zusammenhang zwischen den Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens und dem Wissen und Verständnis [H.3.4.2]

Die Korrelationsanalysen zwischen den Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens und dem Wissen ergaben zwar zum Teil ausgeprägte Korrelationskoeffizienten, jedoch war keine der Korrelationen zweiseitig signifikant (s. Tabelle 15 bis Tabelle 17). Für die Prüfung der Hypothese H.3.4.2 hätte sich daher streng genommen eine Ablehnung der Hypothese ergeben. Das wäre allerdings nicht angemessen gewesen, weil die Korrelationskoeffizienten im Bereich der Durchschnittskorrelation zwischen Interesse und Wissen lagen ($r = 0.3$). Ausgehend von den erhobenen Korrelationskoeffizienten ließen sich folgende Trends ableiten:

Das Interesse der Schüler an der Beschäftigung mit der Theorie (T I) und das Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (T II) waren bedeutsam für den Aufbau von Wissen. Das Interesse der Schüler an der Beschäftigung mit der Theorie (T I) war bedeutsam für das Faktenwissen (s. Tabelle 15). Das Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (T II) war darüber hinaus wichtig für den Aufbau von Strukturwissen, was sich in einer Korrelation zwischen dem Interesse an der Hypothesenbildung und -prüfung (T II A) und dem Komplexitätsindex KPX 3 gezeigt hat (s. Tabelle 16). Das Interesse der Schüler an instrumentellen Tätigkeiten (T III), die im Allgemeinen im Projekt NaT-Working „Meeresforschung“ zentraler Bestandteil sind, stand bei den untersuchten Schülern in einem negativen Zusammenhang mit ihrem Faktenwissen [s. Tabelle 17, Korrelation zwischen der Anzahl an Begriffen (KNO) und dem Interesse am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten (T III A)]. Außerdem standen diese Interessen in einem negativen Zusammenhang mit den Fehlkonzepten [s. Tabelle 17, negative Korrelation zwischen den Fehlkonzepten (KAN F) und (T III A)].

Die Hypothese **H.3.4.2**,
„je höher die Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen sind, desto höher ist das Wissen und Verständnis in der im Projekt behandelten Wissensdomäne ausgebildet“, konnte somit für das Interesse an instrumentellen Tätigkeiten nicht bestätigt werden. Für die kognitiven Tätigkeiten konnte sie als Trend bestätigt werden.

Für das Interesse an instrumentellen Tätigkeiten konnte die Hypothese H.3.4.2 nicht bestätigt werden, da insbesondere die negative Korrelation zwischen dem Faktenwissen und dem

Interesse am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten nah an der 5% Signifikanzgrenze ist (s. Tabelle 17). Dass sich in den Ergebnissen negative Korrelationen sowohl zwischen dem Faktenwissen und Interesse am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten zeigten, als auch zwischen den Fehlkonzepten und diesem Interesse, ist nicht plausibel. In Anlehnung an Novak und Gowin (1984) liegt der vorgelegten Arbeit die Annahme zugrunde, dass mit einer Wissenszunahme die Anzahl an Fehlkonzepten sinkt. Potenzielle Einflussvariablen, die in einem positiven Zusammenhang mit dem Faktenwissen stehen, sollten der Erwartung entsprechend in einem negativen Zusammenhang mit der Anzahl an Fehlkonzepten stehen. In den kognitiven Tätigkeiten als potenzielle Einflussvariable für den Wissensaufbau findet sich das auch als Trend bestätigt [s. Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (T I), Tabelle 15], in den instrumentellen Tätigkeiten jedoch nicht, ganz im Gegenteil: Das Interesse der Schüler am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten stand in einem negativen Zusammenhang mit ihrem Wissen, sowohl mit dem fachwissenschaftlich richtigen Wissen als auch mit dem fachwissenschaftlich falschen Wissen, also vollständig mit dem Lernprozess.

Die Ablehnung der H.3.4.2 in Bezug auf die instrumentellen Tätigkeiten wird unterstrichen durch die Ergebnisse der Analyse der kognitiven Tätigkeiten. In der zweiten Kategorie (T II) wurden die Interessen an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten erhoben, unter denen sich drei Faktoren zeigten, die inhaltlich dem Kompetenzmodell zum Experimentieren von Klahr (2000) entsprechen: Das Interesse an der Hypothesenbildung und –prüfung (T II A), das Interesse am Planen und Optimieren von Experimenten (T II B) und das Interesse an der Datenanalyse (T II C). Das Interesse am Planen und Optimieren von Experimenten (T II B) weist eine, wenn auch nur sehr geringe, negative Korrelation mit dem Faktenwissen auf. Insgesamt sind die Korrelationen zwischen T II B und dem Wissen aber sehr gering bis gar nicht ausgeprägt (s. Tabelle 16).

Die Interessen der Schüler an instrumentellen Tätigkeiten standen also in keinem Zusammenhang mit ihrem Wissensaufbau, im Gegenteil: Je höher das Interesse der Schüler am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten war, desto geringer war ihr aufgebautes Faktenwissen, desto geringer war allerdings auch die Anzahl an integrierten falschen Kanten. Für das Interesse an kognitiven Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen konnte die Hypothese demgegenüber bestätigt werden, jedoch nur als Trend, da die Korrelationskoeffizienten zwar ausgeprägt sind, allerdings nicht zweiseitig signifikant. Im Anschluss an die Empfehlungen für einen handlungsorientierten Unterricht (Jank & Meyer, 2003) ergibt sich hieraus Folgendes:

Die Verbindung von *Kopf- und Handarbeit* in dem Lernprozess war in Bezug auf den untersuchten Inhalt in den Projekten nicht gelungen. Für den Lernerfolg zeigten sich nämlich nur die kognitiven Tätigkeiten, also die Kopfarbeiten als potenziell bedeutsam. Für einen optimalen Lernprozess ist aber gerade die Verbindung von *Kopf- und Handarbeit*, also kognitiven und *hands on* Tätigkeiten, wichtig und sollte in weiteren Projekten unterstützt bzw. stärker umgesetzt werden.

V.4 Wissensentwicklung

Zur Untersuchung der Wissensentwicklung in einer Domäne wurden die CM Referenznetz basiert transkribiert, um einen inhaltlichen Vergleichmaßstab anzulegen. Anschließend wurden die CM mit einem Methodenmix ausgewertet, der sich aus qualitativen und quantitativen Auswertungen zusammensetzt.

V.4.1 Vorbemerkung zur Begründung von qualitativer und quantitativer Methodik

Quantitative Forschungsmethoden zeichnen sich durch die Unabhängigkeit der Daten bzw. Ergebnisse vom Forscher aus, demgegenüber ist die methodisch kontrollierte Wahrnehmung des Forschers in der qualitativen Forschung relevant. Die Datenerhebung ist in quantitativer Forschung zumeist standardisiert, wohingegen ein Charakteristikum qualitativer Forschung die offene Datenerhebung ist. Daran anschließend finden sich in der quantitativen Forschung vergleichend statistische Auswertungsverfahren und in der qualitativen Forschung Auswertungsverfahren, deren Ergebnisse erst durch Interpretationen verglichen werden können.

Leutner (1999) zieht im Anschluss an Mayring (1999) den Schluss, dass qualitativ-interpretativ gewonnene Daten nützlich sein können, aber für eine Generalisierung der Daten einer quantitativ-empirischen Überprüfung bedürfen. Qualitative Forschungsmethoden stellen damit für ihn ein Hypothesen generierendes Verfahren dar. Diese wissenschaftliche Position wird auch in der vorliegenden Arbeit vertreten.

Da in der hier vorgelegten Studie der Wissensentwicklung der Schüler sowohl qualitative als auch quantitative Methoden eingesetzt wurden, war es wichtig, adäquate Gütekriterien aus der qualitativen und quantitativen Methodenforschung zugrunde zu legen. Im Folgenden werden diese Gütekriterien in ihrer formalen Entsprechung gegenübergestellt und jeweils in Bezug auf die vorliegende Studie und deren Generalisierbarkeit diskutiert.

V.4.1.1 Generalisierbarkeit der Ergebnisse

Zentrale Voraussetzung dafür, dass empirisch gewonnene Ergebnisse generalisiert werden können, ist die Erfüllung der Gütekriterien. Traditionelle Gütekriterien der quantitativen Forschung aus statistischen Test-Verfahren werden in drei Haupt-Gütekriterien unterschieden: Objektivität, Reliabilität und Validität. Die Qualität eines Tests lässt sich aus der Prüfung dieser Hauptkriterien ableiten (Bortz & Döring, 2002). Zwischen den Gütekriterien besteht eine logische Beziehung: Die Objektivität ist eine logische Voraussetzung für die Reliabilität und diese wiederum für die Validität (Rost, 2004a).

In der Tabelle 29 werden diese klassischen Test-Gütekriterien aus der quantitativen Forschung entsprechenden Gütekriterien aus der qualitativen Forschung gegenüber gestellt (Legewie, 2005).

Tabelle 29: Vergleich der Gütekriterien qualitativer und quantitativer Forschung
In Anlehnung an Legewie (2005, Internetpublikation, S. 7).

Gütekriterien im Vergleich	
Für quantitative Methoden (Tests und Fragebögen) <i>ergebnisbezogen in Form eines Koeffizienten</i>	Für qualitative Methoden <i>Bezogen auf Schlussfolgerungen als argumentative Begründung</i>
Methodeninterne Gütekriterien	
Objektivität	Intersubjektivität
Reliabilität	Reproduzierbarkeit
Interne Validität	Interne Validität
Externe Gütekriterien (externe Validität)	
Inhaltsvalidität	Inhaltsvalidität
Konstruktvalidität	Konstruktvalidität
Kriteriumsvalidität	Kriteriumsvalidität
Ökologische Validität	Ökologische Validität

„Die Objektivität eines Tests gibt an, in welchem Ausmaß die Testergebnisse vom Testanwender unabhängig sind“ (Bortz & Döring, 2002, S. 194).

Sie setzt sich aus drei Unterformen zusammen: Die Durchführungsobjektivität, die Auswertungsobjektivität und die Interpretationsobjektivität (Details, s. Bortz & Döring, 2002, S.194f.). *Objektivität* wird damit erreicht, dass standardisiert festgelegt ist, wie ein Test durchgeführt wird, wie die Auswertung erfolgt und nach welchen Kriterien die Ergebnisse interpretiert werden.

Qualitative Forschung ist nicht streng standardisiert, trotzdem dient das Bemühen um Regelgeleitetheit und Kodifizierung von Forschungstechniken der Intersubjektivität. Das beinhaltet die Explikation und systematische Analyse des Vorgehens im Forschungsprozess mit dem Ziel der logischen Formulierung von Methoden (Steinke, 2004). Das Gütekriterium „Objektivität“ der traditionellen Testdiagnostik findet somit seine qualitative Entsprechung in der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit¹²⁸.

Der Unterschied beider Verfahrensweisen liegt also in den unterschiedlichen epistemologischen Voraussetzungen, d. h. je nach Paradigma erfolgt eine unterschiedliche Gewichtung der Intersubjektivitätskriterien. Quantitative Forschung erreicht Objektivität durch den Bezug auf formale Regeln und Strukturen. Qualitative Forschung erreicht Objektivität durch geteilte Sinn- und Bedeutungsstrukturen, d. h. die Intersubjektivität qualitativer Ergebnisse wird über kommunikative Reflexionsprozesse in einem Diskurs über die unterschiedlichen Sichtweisen möglich, indem der Diskurs zu einem Konsens in der Forschungsgemeinschaft führt (Legewie, 2005).

¹²⁸ Hierbei lassen sich nach Wilson (1982) drei Kriterien der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit unterscheiden: Die Objektivität der Sozialstruktur, die Verständlichkeit des Gezeigten und die Kontextabhängigkeit.

Objektivität ist in der vorgelegten Untersuchung der Wissensentwicklung, die sich aus qualitativen und quantitativen Methoden zusammensetzt, folgendermaßen gewährleistet: Die Durchführungsobjektivität ist insofern gegeben, als dass die Organisation und Durchführung der Datenerhebung standardisiert vorgelegt ist, inklusive der Einführung in die Methode des Concept Mappings (s. Kap. III.4.5). Außerdem ist das Aufgaben- und Antwortformat standardisiert (s. Kap. III.4.3.2). Die Auswertungsobjektivität ist für die grafentheoretische Auswertung darin gewährleistet, dass das Bewertungsformat detailliert vorgelegt ist (s. Kap. III.4.4.1). Für die Ermittlung des individuellen Summenscores ist sie mit der Dokumentation des Bewertungsschemas und der Nebenabsprachen gewährleistet und für die qualitativen Auswertungen ist die Auswertungsobjektivität darin gegeben, dass die Bestimmung der erfassten Inhalte bzw. fachwissenschaftlich falschen Kanten definiert ist (s. Kap. III.4.4.3.E und Kap. III.4.4.3.F). Interpretationsobjektivität ist insbesondere in den qualitativen Auswertungen darin gewährleistet, dass sie intersubjektiv nachvollziehbar sind. Diese Intersubjektivität wurde geprüft, indem ein weiterer Bewerter den jeweiligen Auswertungsleitfaden und die Auswertungen des ersten Bewerter auf ihre intersubjektive Nachvollziehbarkeit hin überprüft hat. Das bedeutet, dass die Objektivität der qualitativen und quantitativen Methoden der vorliegenden Studie in der Durchführungsobjektivität durch die standardisierte Vorlage der Datenerhebungen erfüllt ist. Die Auswertungs- und Interpretationsobjektivität ist ebenfalls in beiden Methoden damit gegeben, dass die Methoden exakt dokumentiert sind, dabei ist in der grafentheoretischen Auswertung und der Bestimmung des individuellen Summenscores der Bezug auf formale Regeln bedeutsam. In der Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen und falschen Kanten ist insbesondere die intersubjektive Nachvollziehbarkeit im Hinblick auf den jeweiligen Auswertungsleitfaden relevant.

„Die Reliabilität oder zu deutsch die Zuverlässigkeit eines Tests bezeichnet die Präzision oder Genauigkeit, mit der ein Test eine Personeneigenschaft misst“ (Rost, 2004a, S. 36).

Reliabilität ist definiert als der Anteil der wahren Varianz an der beobachteten Varianz. Je größer der Anteil der wahren Varianz ist, desto geringer ist der Fehleranteil in den Testwerten. In der vorliegenden Studie wurden zur Reliabilitätsprüfung Koeffizienten berechnet, mit denen die Beurteilerübereinstimmung (Interrater-Reliabilität) und die interne Konsistenz eines Tests abgebildet werden konnten. Die Interrater-Reliabilität wurde bei intervallskalierten Daten als Korrelation bestimmt (Bortz & Döring, 2002). Bei nominalskalierten Daten (dichotome und polytome Kategorien) wurde der Cohens kappa bestimmt (Cohen, 1960). Die interne Konsistenz wurde mithilfe des Cronbachs alpha bestimmt (Cronbach, 1951).

Das Kriterium der Reliabilität, also eine Forderung nach der *Reproduzierbarkeit*, kann auch auf qualitative Forschungsmethoden angewendet werden (Legewie, 2005). In der vorliegenden Arbeit wurde entweder die Interrater-Reliabilität ermittelt (Cohens kappa) oder die Reproduzierbarkeit des Forschungsprozesses. Um dies zu gewährleisten wurde großer Wert auf die genaue Dokumentation des gesamten Forschungsprozesses gelegt, d. h. von der Explikation der eigenen Vorannahmen, über die situationsgenaue Beschreibung der Datenerhebungen bis hin zur Begründung der spezifischen Schlussfolgerungen.

Eine hohe Reliabilität bzw. Reproduzierbarkeit konnte gewährleistet werden, indem das Forschungspersonal für die Erhebungen und Auswertungen geschult wurde.

Die Reliabilitätsprüfung der grafentheoretischen Auswertungen erfolgte über die Korrelationskoeffizienten zwischen zwei unabhängigen Bewertern (s. Kap. III.4.4.2). Für den individuellen Summenscore erfolgte die Prüfung entsprechend über die Bestimmung des Cohens kappa zweier unabhängiger Bewerter (s. Kap. III.4.4.3.B). Die Transkription der CM mithilfe eines Referenznetzes und des detaillierten Transkriptionsleitfadens (s. Kap. III.4.4.3.A) wurde vollständig von einem zweiten unabhängigen Bewerter reproduziert, ebenso die Auswertungen der erfassten fachwissenschaftlich richtigen Inhalte und der fachwissenschaftlich falschen Kanten.

„Unter der Validität eines Tests versteht man das Ausmaß, in dem der Test das misst, was er messen soll“ (Rost, 2004a, S. 33).

Hier wird unterschieden zwischen interner und externer Validität.

Die interne Validität gibt an, inwieweit die Ergebnisse tatsächlich auf die in der Untersuchung intendierte Maßnahme zurückzuführen sind oder auf andere Einflüsse (Leutner, 1999). Dieses Kriterium gilt für quantitative und qualitative Forschungsmethoden gleichermaßen. Im quantitativen Paradigma kommen für die Validitätsprüfung diverse statistische Verfahren in betracht, z. B. die Bestimmung des Validitätskoeffizienten (H. Meyer, 2004), welcher im Falle eines Außenkriteriums der Korrelationskoeffizient zwischen den Test- und Kriteriumswerten ist. In der qualitativen Forschung wird eine Prüfung als kommunikative Validierung durchgeführt (Terhart, 1995), indem die Daten den Probanden mit dem Ziel vorgelegt werden, dass sie hinsichtlich ihrer Gültigkeit bewertet werden.

Die externe Validität ist ebenfalls für qualitative und quantitative Forschung gleichermaßen bedeutsam. Hier geht es um die Realitätshaltigkeit und die Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse, also die Generalisierbarkeit empirischer Befunde auf andere Personen, Situationen etc. Die externe Validität wird in vier Aspekte unterteilt: die Inhaltsvalidität, die Konstruktvalidität, die Kriteriumsvalidität und die ökologische Validität (Details s. Bortz & Döring, 2002). Externe Validität kann gewährleistet sein, indem ein Vergleich zwischen dem Untersuchungsergebnis und einem Außenkriterium durchgeführt wird (z. B. eine Hypothesenprüfung). Hier können entsprechend Korrelationsanalysen zur Prüfung von Zusammenhängen dienen (quantitative Forschung). Sie kann aber auch durch systematische Einzelfallanalysen gegeben werden, z. B. mit der systematischen Aufklärung der Variation in den untersuchten Fällen (qualitative Forschung).

Für die Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse der vorliegenden Studie auf andere Personen, also für die Generalisierbarkeit, ist die externe Validität entscheidend. Generalisierbarkeit der quantitativen Ergebnisse ist mit der Hypothesenprüfung gewährleistet. Hier ist zwingend erforderlich, dass die quantitativen Methoden der Stichprobengröße angemessen angewendet werden. In der vorliegenden Studie, der eine relativ kleine Stichprobe zugrunde lag, wurden deshalb entsprechende Methoden ausgewählt (s. Korrelationsanalysen Kap. III.4.2.2; s. Faktorenanalyse Kap. III.4.1.2, S. 68; s. Unterschiedsprüfung, Wilcoxon-Test, Kap. III.4.4.3.D). Die entscheidende Einschränkung, die sich aus den Korrelationsanalysen ergeben hat, ist, dass aus der Studie keine Kausalaussagen generiert werden können. Mithilfe der Korrelationsanalysen konnten aber Zusammenhänge

aufgeklärt werden, die über die untersuchte Stichprobe hinaus auf solche Schüler generalisierend interpretiert werden können, die ein ähnliches außerschulisches Projekt durchführen. Somit lieferten die Zusammenhangsuntersuchungen wichtige Erkenntnisse darüber, welche Einflussfaktoren zur Zielerreichung von NaT-Working „Meeresforschung“ beitragen können. Daraus lassen sich Empfehlungen für die Gestaltung außerschulischer Lernumgebungen ableiten, die ähnliche Zielsetzungen, wie NaT-Working „Meeresforschung“, haben.

Generalisierbarkeit qualitativer Ergebnisse ist mit der systematischen Aufklärung der Variation in den untersuchten Fällen möglich. In der vorliegenden Studie ist allerdings mit der qualitativen Auswertung keine direkte Generalisierung angestrebt worden. Vielmehr diente die Aufklärung der Variation in den Daten zur Ergänzung der quantitativen Auswertungen und zur Beantwortung der Forschungsfragen 3.2.1 und 3.2.2.

Im Folgenden werden die Ergebnisse diskutiert, zunächst die Ergebnisse der quantitativen Untersuchung der Wissensentwicklung der Schüler und anschließend die Ergebnisse der qualitativen Untersuchung.

V.4.2 Quantitative Untersuchung [H.3.1.1 und H.3.1.2]

Quantitative Bestandteile des Methodenmixes sind zum einen die grafentheoretischen Auswertungen und zum anderen die Bestimmung des individuellen Summenscores.

Der grafentheoretischen Auswertung lagen die Annahmen zugrunde, die bereits in Kap. V.3 genannt wurden, dass nämlich mit zunehmender Expertise auch das Wissen und Verständnis in der Domäne zunimmt. Diese Wissensentwicklung konnte mithilfe der Grafenmaße der CM abgebildet werden. Die Ergebnisse der grafentheoretischen Auswertungen zeigten einen Wissenszuwachs über das Ökosystem Ostsee vom Zeitpunkt des Pre-Tests zum Zwischentest insbesondere im Strukturwissen (s. Abb. 33). Bis zum Post-Test zeigte sich zwar kein weiterer signifikanter Wissensanstieg, jedoch sinkt dort die Anzahl an Fehlkzepten signifikant (s. Abb. 32).

Das bedeutet, dass die Quantität des Strukturwissens bei den Schülern vom Zeitpunkt des Pre-Tests zum Zwischentest signifikant zugenommen hat. Die weitere Wissensentwicklung war dann nicht durch eine quantitative Zunahme von Wissen gekennzeichnet, sondern vielmehr durch eine quantitative Abnahme der Fehlkzepten.

Die Hypothese **H.3.1.2**,
„mit der Teilnahme an dem Projekt sinkt die Anzahl an Fehlkzepten“,
konnte demnach bestätigt werden.

Der individuelle Summenscore setzt sich zusammen aus der Summe der Einzelrelationen, die je nach ihrer inhaltlichen Qualität mit Punkten von null bis drei bewertet wurden (s. Bewertungsschema, S. 96f.). Die Ergebnisse des individuellen Summenscores bestätigen den quantitativen Wissenszuwachs vom Zeitpunkt des Pre-Tests zum Zwischentest (s. Abb. 34). Die Auswertung der Relationen der einzelnen Punkteniveaus zeigte einen Trend vom Zwischentest zum Post-Test, in dem sich zwar nicht die Quantität des Wissens der Schüler vergrößert hat, jedoch die Qualität verändert: Relationen niedrigen Niveaus, also solche mit null Punkten und einem Punkt, nehmen kontinuierlich ab und Relationen hohen Niveaus, also solche mit drei Punkten, nehmen zu, allerdings nicht signifikant (s. Abb. 36). Zusammen mit den Ergebnissen der grafentheoretischen Auswertungen ergab sich für die Prüfung der Hypothese H.3.1.1 somit Folgendes:

Die Hypothese **H.3.1.1**,
„mit der Teilnahme an dem Projekt steigt das Fakten- und Strukturwissen der Schüler“, konnte für das Strukturwissen bestätigt werden und konnte für das Faktenwissen nicht bestätigt werden.

Im Rahmen der Untersuchung der Vorwissensabhängigkeit (s. Kap. V.3.3) wurde neben der Vorwissensabhängigkeit im Fakten- und Strukturwissen auch geprüft, ob es einen Zusammenhang zwischen den Fehlkzepten im Vorwissen und den Fehlkzepten im Wissen der späteren Messzeitpunkte bei den Schülern gegeben hat. In den Ergebnissen dieser Untersuchung findet sich kein Zusammenhang zwischen den Fehlkzepten des Vorwissens

und denen im Wissen des Zwischentests. Es findet sich jedoch ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen den Fehlkzepten des Zwischentests und denen des Wissens im Post-Test (s. Tabelle 28).

Das bedeutet:

Je mehr Fehlkzepten die Schüler in ihrer Wissensstruktur zum Zeitpunkt des Zwischentests hatten, desto mehr Fehlkzepten hatten sie auch nach dem Projekt.

Dieses Ergebnis ist nicht plausibel, da zu erwarten gewesen wäre, dass die Schüler ihre Fehlkzepten bis zum Projektende korrigieren, woraus sich ein negativer Zusammenhang ergeben hätte. Es zeigte sich jedoch eine positive Korrelation. Diese positive Korrelation wird plausibel, wenn dieses Ergebnis zusammen mit den Daten des Faktenwissens interpretiert wird. Nach Novak und Gowin (1984) resultieren Fehlkzepten aus Wissenslücken. Mit dem Füllen von Wissenslücken nehmen die Fehlkzepten in der Wissensstruktur ab. Die Ergebnisse der Entwicklung des Faktenwissens, unter anderem erhoben als Anzahl der Begriffe (KNO) im CM, zeigen, dass sich die Anzahl der Begriffe in den CM über die Messzeitpunkte kaum verändert hat (s. Abb. 32)¹²⁹. Füllt ein Schüler also keine Wissenslücken, so nehmen auch seine Fehlkzepten nicht ab. Die Fehlkzepten nahmen in der untersuchten Stichprobe trotzdem vom Zeitpunkt des Zwischentests zum Post-Test ab, was darauf zurückzuführen ist, dass sich die Qualität der Wissensstruktur verändert hat. Die Veränderung der Wissensqualität vom Zeitpunkt des Zwischentests zum Post-Test zeigte sich, außer in der signifikanten Abnahme der Fehlkzepten, in der Zunahme der Relationen mit 3 Punkten (s. Abb. 36), die im Rahmen der Ermittlung des individuellen Summenscores bestimmt wurden. Die qualitativen Auswertungen der Wissensentwicklung, die im Folgenden diskutiert werden, zeigten diese qualitative Wissenszunahme sehr deutlich.

¹²⁹ Die Anzahl der fachwissenschaftlich richtigen Kanten (KAN R) verändert sich zwar, jedoch nicht signifikant.

V.4.3 Qualitative Untersuchung [Forschungsfragen 3.2.1 und 3.2.2]

Die qualitative Untersuchung der Wissensentwicklung diente der Ergänzung der vorgestellten quantitativen Auswertungen. Mit der systematischen Aufklärung der Varianz der erfassten fachwissenschaftlich richtigen und falschen Kanten wurde die Wissensentwicklung der Schüler mithilfe der qualitativen Untersuchung sehr präzise und in inhaltlichen Kategorien abgebildet (s. Kap. IV.3.4). Ziel der qualitativen Analyse war also keine Generalisierung der Ergebnisse, sondern die in Kap. V.4.2 diskutierten Ergebnisse der quantitativen Untersuchung weiter zu stützen und die Forschungsfragen 3.2.1 und 3.2.2 zu beantworten.

Forschungsfrage 3.2.1:

Welche Inhalte lernen die Schüler über das Nahrungsnetz der Ostsee mit der Projektteilnahme und welche fachwissenschaftlich falschen Kanten zeigen sich in den Concept Maps?

Forschungsfrage 3.2.2:

Entwickeln die Schüler ein Verständnis über das Ökosystem Ostsee und die zugrunde liegenden Nahrungsbeziehungen?

Für die Beantwortung der Forschungsfrage 3.2.1 wurden die CM daraufhin untersucht, welche Elemente sich über die einzelnen Fachkonzepte (s. Kap. II.4.1) in den CM finden und welche Verknüpfungen die Schüler gezogen haben (Ossimitz, 2000a). Damit stellen die Ergebnisse der qualitativen Auswertungen eine Ergänzung der Ergebnisse der quantitativen Auswertungen dar (s. o.). In der quantitativen Untersuchung wurden die Begriffe in den CM und Verknüpfungen (Kanten in den CM) ausgezählt. In der qualitativen Untersuchung wurden die Elemente und Verknüpfungen inhaltlich ausgewertet und den relevanten Fachkonzepten (z. B. einfache Nahrungskette oder Nährstoffkreisläufe) zugeordnet. Daraus wurden Erkenntnisse darüber gewonnen, welche Fachkonzepte die Schüler über das Ökosystem Ostsee im Projekt NaT-Working „Meeresforschung“ gelernt haben. Die Prüfung des Verständnisses der Schüler über das Ökosystem Ostsee, also die Beantwortung der Forschungsfrage 3.2.1 wurde möglich, indem der Grad der Verknüpfung qualitativ herausgearbeitet wurde. In der quantitativen Auswertung wurde das Verständnis mithilfe der Komplexitätsindices (KPX 1 und KPX 3, s. Kap. IV.3.2.1) abgebildet.

Die qualitative Analyse beinhaltet eine detaillierte Herausarbeitung der erfassten Inhalte und der vorkommenden fachwissenschaftlich falschen Kanten über die drei Messzeitpunkte zu den folgenden Fachkonzepten:

- Gasaustausch zwischen der Atmosphäre und dem Wasser (s. Kap. IV.3.4.1),
- Fotosynthese und Nährstoffe (s. Kap. IV.3.4.2),
- Respiration des Phytoplanktons (s. Kap. IV.3.4.3),
- Respiration heterotropher Lebewesen (s. Kap. IV.3.4.4),
- Einfache Nahrungskette (s. Kap. IV.3.4.5),
- Mikrobielle Schleife (s. Kap. IV.3.4.6),
- Nährstoffkreisläufe (s. Kap. IV.3.4.7),
- Nitrifikation (s. Kap. IV.3.4.8).

In den Ergebnissen der quantitativen Untersuchung der Wissensentwicklung zeigte sich ein quantitativer Wissenszuwachs vom Zeitpunkt des Pre-Tests zum Zwischentest. Bis zum Ende des Projekts setzte sich die Wissensentwicklung zwar quantitativ nicht fort, jedoch zeichnete sich eine qualitative Wissensveränderung ab. Genauere Aussagen über die Veränderung der Wissensqualitäten der Schüler über die MZP, die sich bereits in den Ergebnissen der quantitativen Auswertungen abgezeichnet hatten (s. Kap. IV.3.2), sind mit den vorgelegten qualitativen Untersuchungsergebnissen möglich.

Ist es vom Zwischentest zum Post-Test zu einer qualitativen Wissensveränderung gekommen?

Der Trend, der sich bereits in den Ergebnissen der grafentheoretischen Auswertung und des individuellen Summenscores abgezeichnet hat, in dem es vom Zeitpunkt des Pre-Tests zum Zwischentest zu einem quantitativen Wissenszuwachs gekommen ist und vom Zeitpunkt des Zwischentests zum Post-Test zu einer qualitativen Wissensveränderung, spiegelt sich in den Ergebnissen dieser qualitativen Auswertungen wider und wird an zwei Beispielen deutlich:

1. Beispiel: Bezüglich des allgemeinen Nährstoffbedarfs der Lebewesen des Phytoplanktons kam es vom Pre-Test zum Zwischentest zu einem Wissenszuwachs, denn hier lernte der größte Teil der Schüler, dass die Lebewesen des Phytoplanktons neben Licht und CO_2 für die Fotosynthese Nährstoffe benötigen, darunter auch die stickstoffhaltigen Nährstoffe NH_4^+ und NO_3^- . Vom Zeitpunkt des Zwischentests zum Post-Test kam es zu einer qualitativen Wissensveränderung, denn der größte Teil der Schüler lernte, dass das Phytoplankton Nährstoffe braucht und dass das Phytoplankton NO_3^- als Nährstoff dem NH_4^+ bevorzugt (s. Kap. IV.3.4.2 und IV.3.4.7).

2. Beispiel: Die fachwissenschaftlich richtige Einordnung der Lebewesen des Phyto- und Zooplanktons zeigte deutlich den quantitativen Wissenszuwachs vom Zeitpunkt des Pre-Tests zum Zwischentest, der sich im Weiteren als qualitative Wissensveränderung fortsetzte. Der Wissenszuwachs vom Pre-Test zum Zwischentest zeigte sich darin, dass alle Schüler im Zwischentest die Lebewesen des Phytoplanktons als fotosynthetisch autotrophe Lebewesen darstellten. Dabei stellten allerdings einzelne Schüler ebenfalls das Zooplankton auf diese Weise dar. Dieses Fehlkonzept korrigierten diese Schüler bis zum Ende des Projekts. Das

bedeutet, dass zum Zeitpunkt des Zwischentests zwar alle Schüler die Fotosyntheseaktivität des Phytoplanktons fachwissenschaftlich richtig abgebildet haben, jedoch stellten zudem einzelne Schüler das Zooplankton auf diese Weise dar. Einem Teil der Schüler war also noch nicht klar, dass die Lebewesen des Zooplanktons keine autotrophen Lebewesen sind sondern heterotrophe, die sich von den Lebewesen des Phytoplanktons ernähren. Diesen Sachverhalt lernten die Schüler bis zum Ende des Projekts (s. Kap. IV.3.4.5).

Mit der detaillierten Herausarbeitung der Variation der erfassten Inhalte und falschen Kanten über die einzelnen Fachkonzepte wurde die Forschungsfrage 3.2.1 ausführlich beantwortet. Es bleibt aber die Frage danach offen, welche Fachkonzepte die Schüler verstanden haben und fachwissenschaftlich richtig zueinander in Beziehung gesetzt haben (s. Forschungsfrage 3.2.2).

Die Ergebnisse zeigten, dass die Schüler allgemeine Konzepte gelernt, miteinander in Beziehung gesetzt und wichtige Kreisläufe erkannt haben, d. h. sie erreichten ein Verständnis über folgende Fachkonzepte:

- Fotosynthese und Nährstoffe,
- einfache Nahrungskette,
- Nährstoffkreislauf und
- Respiration heterotropher Lebewesen.

Ähnlich den quantitativen Auswertungen (s. Abb. 32, grafentheoretische Auswertung, KAN F und Abb. 36, individueller Summenscore, Relationen mit 0 Punkte und 1 Punkt) sind die Ergebnisse der fachwissenschaftlich falschen Kanten aus der qualitativen Analyse aufschlussreich. In den Konzepten, in denen die Schüler ein hohes Maß an Verständnis erreicht haben, zeigten sich am Ende des Projekts keine oder nur einzelne falsche Kanten (s. S. 325, Fotosynthese und Nährstoffe, Tabelle 57 und S. 329, einfache Nahrungskette, Tabelle 59).

Schwierigkeiten hatten die Schüler allerdings mit dem Lernen von den spezifischen Fachkonzepten, das waren folgende Konzepte:

- Gasaustausch zwischen der Atmosphäre und dem Wasser,
- Respiration autotropher Lebewesen,
- mikrobielle Schleife und
- Nitrifikation.

Der Schülergruppe gelang es also, allgemeines Wissen über die Nahrungsbeziehungen des Ökosystems fachwissenschaftlich richtig aufzubauen. Es gelang den Schülern aber nicht, Spezialwissen fachwissenschaftlich richtig in ihre Wissensstruktur zu integrieren. Das zeigte sich sehr deutlich in dem Vorkommen von falschen Kanten am Ende des Projekts in dem Fachkonzept Nitrifikation (s. S. 336, Tabelle 62) und in dem Auftreten von falschen Kanten über die organ. N-Verbindungen (s. S. 332, Nährstoffkreislauf, Tabelle 61). Die Schüler haben in Bezug auf die stickstoffhaltigen Nährstoffe nicht gelernt bzw. haben zum großen Teil Schwierigkeiten damit, die organ. N-Verbindungen fachwissenschaftlich richtig in ihre Wissensstruktur zu integrieren. Sie lernten zwar den Nährstoffkreislauf der stickstoffhaltigen

Nährstoffe, jedoch Spezialwissen über das Recycling - also die Nitrifikation - lernten sie, bis auf einen Schüler, nicht.

Das bedeutet, dass es mit dem Projekt NaT-Working „Meeresforschung“ gelungen ist, fachwissenschaftlich wichtige Fachkonzepte derart zu vermitteln, dass die Schüler diese fachwissenschaftlich richtig lernen und miteinander in Verbindung bringen. Die Integration von fachwissenschaftlichem Spezialwissen ist jedoch nur einzelnen Schülern gelungen.

Wird dieser Befund im Zusammenhang mit der Ablehnung der Hypothese H.4.B diskutiert (s. S. 178), so trägt er zur Begründung dafür bei, warum sich kein Zusammenhang zwischen dem Interesse an den Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse) und dem Wissen gezeigt hat. Der Befund legt dar, dass die Schüler des Bio-LK eine Wissensstruktur aufgebaut haben, in die sie allgemeine Fachkonzepte der Nahrungsbeziehungen des Ökosystems Ostsee fachwissenschaftlich richtig integriert haben. Der Befund zeigt aber auch, dass diese Wissensstruktur inhaltlich auf einem allgemeinen und wenig elaborierten Niveau geblieben ist. Im Anschluss an Wild et al. (2001) korrelieren Interesse und Leistung nur, wenn für den Lernerfolg eine elaborierte Wissensstruktur erforderlich ist, weil eine solche Wissensstruktur nur von interessierten Schülern zu erwarten ist. Die Wissensstrukturen, die sich in den CM der Schüler des Bio-LK zeigten, sind insofern wenig elaboriert, als dass sie nur allgemeine Fachkonzepte beinhalten. Spezifische Konzepte und entsprechende Kreisläufe, die zu einem elaborierten Verständnis führen, finden sich in den CM nicht oder sind fachwissenschaftlich falsch.

V.5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchung des **Berufsinteresses** der Schüler an einem naturwissenschaftlichen Beruf und einer möglichen Beeinflussung durch die Projektteilnahme in NaT-Working „Meeresforschung“ hat gezeigt, dass die Berufsorientierung bei den Schülern der Sek II nicht bzw. kaum beeinflusst wurde. Demgegenüber zeigte sich eine positive Beeinflussung des **Interesses an dem Schulfach**, in welches das Projekt eingebunden war. Diese Interessensteigerung war zurückzuführen auf die Methode der Wissensvermittlung und den subjektiv erlebten Wissenszuwachs.

Für die Förderung des **Interesses an Projektthemen** (aktualisiertes individuelles Interesses) zeigten sich folgende Variablen als potenzielle Einflussvariablen:

- Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse),
- Projektklima,
- Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (T I),
- Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten, speziell das Interesse am Planen und Optimieren von Experimenten (T II B).

Neben dem individuellen Interesse war also für die Interessenentwicklung an Projektthemen möglicherweise bedeutsam, wie wohl sich die Schüler im Projekt gefühlt und wie gerne sie an dem Projekt teilgenommen haben (Projektklima). Bedeutsam waren möglicherweise weiterhin kognitive Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens.

Außerdem zeigten sich folgende Projektfaktoren in Trends ebenfalls für die Förderung des Interesses an Projektthemen als potenzielle Einflussvariablen:

- Möglichkeit für Schüler, Fragen und Wünsche zu äußern,
- innere Kohärenz des Projekts,
- aktive Beteiligung an Experimenten (Faktor B, Projektmanagement),
- Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten, speziell das Interesse an der Datenanalyse (T II C),
- Interesse an instrumentellen Tätigkeiten, speziell das Interesse am Erstellen und Präsentieren von Modellen (T III B).

Die Möglichkeit für Schüler, Fragen und Wünsche zu äußern, zeigte sich in einem engen Zusammenhang mit dem Interesse der Schüler an Projektthemen (und auch mit dem Interesse der Schüler an Naturwissenschaften). Da dieser Zusammenhang nicht zweiseitig signifikant ist, konnte nur ein Trend interpretiert werden. Offen bleibt die Klärung der Bedeutung des Zusammenhangs zwischen der Zufriedenheit darüber, die eigenen Fragen und Wünsche äußern zu können, und dem Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse). Schüler, die ihre Fragen stellen und individuelle Wünsche äußern können, erleben sich in hohem Maße selbstbestimmt. Die Bedeutung der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (1993) für die Interessenentwicklung (Krapp, 1992a; Prenzel, 1988a) lässt den Schluss zu, dass dieser Projektfaktor eine potenzielle Einflussvariable für die Entwicklung des Interesses an Projektthemen (aktualisiertes individuelles Interesse) war. Ob er auch ein

Mediator für den Zusammenhang des individuellen Interesses und des aktualisierten individuellen Interesses ist, bleibt in Folgestudien zu klären.

Die innere Kohärenz des Projekts wurde von den Schülern des Projektkurses deutlich höher bewertet als von den Schülern des Bio-LK. Da das Interesse der Schüler des Projektkurses an den Projektthemen nach dem Projekt ebenfalls deutlich höher war als das der Leistungskursschüler zeichnete sich ein Trend ab, in dem die innere Kohärenz des Projekts möglicherweise bedeutsam für die Entwicklung des Interesses an Projektthemen ist. Schüler, die mit der inneren Kohärenz zufrieden sind, erleben sich als kompetente Projektteilnehmer. Diese Kompetenzerfahrung steht im Zusammenhang mit der Interessenentwicklung, was sich in der vorgelegten Studie in einer Förderung des Interesses an Projektthemen zeigte. Ähnliches gilt für die aktive Beteiligung an den Experimenten im Projekt.

Unter den Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen zeichneten sich Trends ab, in denen das Interesse an der Datenanalyse und das Interesse am Erstellen und Präsentieren von Modellen möglicherweise bedeutsam für die Interessenentwicklung an Projektthemen sind. Das bedeutet, dass über die kognitiven Tätigkeiten hinaus, die praktischen Tätigkeiten, die mit einer Kompetenzerfahrung verbunden sind, zu einer Interessenförderung beitragen können. Das Erstellen und Präsentieren von Modellen der eigenen Arbeit, sozusagen als „Experten“ die eigene Arbeit vorzustellen, ist mit einem hohen Maß an Kompetenzerfahrung verbunden und kann somit für die Interessenförderung sehr bedeutsam sein.

Ein Zusammenhang zwischen dem Interesse an Projektthemen und dem Interesse der Schüler an der Arbeit mit den Laborgeräten zeigte sich nicht. Dies entsprach nicht der Erwartung, weil doch gerade mit den praktischen Arbeiten in authentischer Lernumgebung, also im Labor bzw. Freiland, das Interesse der Schüler gefördert werden sollte. Die Ursache für diesen Befund bleibt in weiteren Studien zu klären. Möglicherweise war es in den Projekten nicht gelungen diese praktischen Tätigkeiten derart in den Lernprozess einzubinden, dass die Schüler eine Verbindung zwischen dem zu lernenden Inhalt und der wissenschaftlichen Tätigkeit herstellen konnten. Die Untersuchung der Wissensentwicklung mit den potenziellen Einflussvariablen der vorliegenden Studie haben hierzu weitere Befunde geliefert.

Für den **Wissensaufbau** haben sich folgende potenzielle Einflussvariablen gezeigt:

- Vorwissen,
- Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse),
- Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (T I),
- Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (T II), speziell an der Hypothesenbildung und -prüfung (T II A) sowie an der Datenanalyse (T II C).

Zur Vermeidung von Fehlkonzepten haben sich folgende Variablen als potenzielle Einflussvariablen gezeigt:

- Projektfaktoren,
- Selbstkonzept im Fach.

Erwartungsgemäß stand das Vorwissen der Schüler in einem positiven Zusammenhang mit dem Wissensaufbau, das gilt insbesondere für das Faktenwissen. Für das Strukturwissen und somit für das Erreichen eines Verständnisses in der Domäne war jedoch möglicherweise das Strukturwissen relevant, das während des Projekts aufgebaut wurde. Außerdem zeigte sich erwartungsgemäß das Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse) für den Wissensaufbau, speziell den Aufbau von Strukturwissen als potenzielle Einflussvariable. Unter den Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen zeigten sich die kognitiven Tätigkeiten als potenzielle Einflussvariablen für den Wissensaufbau. Die Projektfaktoren und das Selbstkonzept der Schüler im Fach standen in keinem direkten Zusammenhang mit dem Wissen, jedoch zeigte sich eine indirekte Bedeutung für den Wissensaufbau darin, dass sie als potenzielle Einflussvariablen zur Vermeidung von Fehlkonzerten beigetragen haben.

Die Untersuchung der potenziellen Einflussvariablen für den Wissensaufbau unterstreicht den Befund, der sich in der Interessenuntersuchung bereits abgezeichnet hat. Die instrumentellen Tätigkeiten, insbesondere die Tätigkeiten mit den Laborgeräten, standen in keinem Zusammenhang mit dem Interesse an Projektthemen. Diese instrumentellen Tätigkeiten standen zudem auch in keinem Zusammenhang mit der Wissensentwicklung der Schüler. Das bedeutet, dass die Verbindung von Kopf- und Handarbeit in dem Lernprozess in Bezug auf den untersuchten Inhalt in den Projekten nicht gelungen war. Für den Lernerfolg in den Projekten zeigten sich nur die kognitiven Tätigkeiten als potenziell bedeutsam. Für einen optimalen Lernprozess ist aber die Verbindung von Kopf- und Handarbeit, also der kognitiven und instrumentellen Tätigkeiten, wichtig und sollte in weiteren Projekten unterstützt bzw. stärker umgesetzt werden.

Die Untersuchung der **Wissensentwicklung bei den Schülern des Bio-LK** mithilfe qualitativer und quantitativer Methoden hat sehr differenziert gezeigt, dass das Wissen der Schüler zunächst quantitativ zugenommen und dann an Qualität gewonnen hat, was zu einem ausgeprägten Verständnis über wichtige Fachkonzepte der Nahrungsbeziehungen im Meer geführt hat. Es zeigte sich allerdings auch, dass es eher die allgemeinen Fachkonzepte sind, welche die Schüler gelernt und miteinander in Beziehung gesetzt haben. Spezifische Fachkonzepte lernten die Schüler nur in Ansätzen bzw. gar nicht oder fehlerhaft.

Gerade die Kombination aus quantitativen und qualitativen Methoden hat sich in der Studie als sehr wertvoll erwiesen. Die grafentheoretischen Auswertungen haben gezeigt, dass das Strukturwissen zunächst signifikant zugenommen und im weiteren Lernprozess die Fehlkonzerte signifikant abgenommen haben. In der Abnahme der Fehlkonzerte zeichnete sich indirekt eine Qualitätszunahme des Wissens ab, die in den Ergebnissen des individuellen Summenscores Bestätigung gefunden hat. Die detaillierte Analyse der erfassten fachwissenschaftlich richtig dargestellten Inhalte in den Concept Maps der Schüler zeigte den qualitativen Wissenszuwachs sehr genau. Diese Untersuchung zeigte zwar, dass die Schüler einzelne Fachkonzepte gar nicht gelernt haben, demgegenüber zeigte sich jedoch auch, dass die Schüler ein Verständnis über sehr bedeutsame Fachkonzepte erreicht haben und zwar insbesondere vom Zeitpunkt des Zwischentests zum Post-Test. Das gilt für die Fachkonzepte „Fotosynthese und Nährstoffe“, „einfache Nahrungskette“ und „Nährstoffkreislauf“.

Spezifische Konzepte, wie der „Gasaustausch zwischen der Atmosphäre und dem Wasser“, die „mikrobielle Schleife“, die „Nitrifikation“ und die „Respiration autotropher Lebewesen“ wurden demgegenüber nicht gelernt bzw. blieben mit falschen Kanten bzw. Wissenslücken behaftet. Diese differenzierten Ergebnisse der qualitativen Auswertungen dienten der Ergänzung der quantitativen Analysen und unterstützten damit die Hypothesenprüfung. Für die Gestaltung weiterer Projekte mit ähnlichem Fachinhalt sind die Ergebnisse der detaillierten Analyse der fachwissenschaftlich falschen Kanten bedeutsam, die mithilfe des eingesetzten Wissensdiagnoseinstruments (Concept Map Test) aufgedeckt werden konnten. Die Kenntnis über solche falschen Kanten, die sich im Wissen von Lernern zeigen, ist für Lehrende besonders bedeutsam, da die Lehrenden die Möglichkeit erhalten, im Lernprozess diese falschen Kanten aufzugreifen und deren Umwandlung in fachwissenschaftlich richtige Kanten zu unterstützen. So zeigte sich z. B., dass Schüler organ. N-Verbindung mit molekularem Stickstoff (N_2) verwechselt haben und demzufolge kein fachwissenschaftlich richtiges Verständnis über die Bedeutung organ. N-Verbindungen in den Nahrungsbeziehungen erreichten. Ebenso hinderlich zeigte sich eine Verwechslung von Phyto- und Zooplankton in Bezug auf das Verständnis über die einfache Nahrungskette, den Nährstoffbedarf und die Fotosynthese. Alle Schüler lernten bis zum Projektende, dass die Lebewesen des Phytoplanktons fotosynthetisch autotroph sind und dabei CO_2 aufnehmen und O_2 abgeben. Sie lernten außerdem das Fachkonzept der einfachen Nahrungskette und dass die heterotrophen Lebewesen O_2 aufnehmen und CO_2 abgeben. Die Bedeutung des Sauerstoffs im Stoffwechsel wurde den Schülern jedoch (wahrscheinlich) nicht klar, denn nur einzelne Schüler stellten zudem einen Sauerstoffbedarf der Lebewesen des Phytoplanktons dar. Dies sind ausgewählte Beispiele, die deutlich machen, dass sich aus der Analyse der fachwissenschaftlich falschen Kanten wertvolle Erkenntnisse gewinnen ließen, welche die Gestaltung von Lernprozessen mit dem Fachinhalt Ökosystem Ostsee und dessen Nahrungsbeziehungen unterstützen und fördern können.

Ein Merkmal von handlungsorientiertem Unterricht ist die Vernetzung von Kopf- und Handarbeit, die nach Jank und Meyer (2003) in Lehr- und Lern-Prozessen in dynamischer Wechselwirkung stehen. Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie geht hervor, dass in den untersuchten Projekten in NaT-Working „Meeresforschung“ nur die kognitiven Tätigkeiten, also die Kopfarbeit im Zusammenhang mit dem Aufbau von Wissen und Verständnis gestanden haben. Mit der Integration der instrumentellen Tätigkeiten in den Lernprozess, also der Handarbeit hätte der Lernerfolg weiter unterstützt und gefördert werden können. Die Arbeit mit Laborgeräten erfordert oft ein hohes Maß an Genauigkeit und Umsicht. Mit solchen Arbeiten lernen die Schüler das exakte Arbeiten, wobei Details sehr genau geplant und umgesetzt werden. Wenn Schüler diese Genauigkeit auch in ihrem Lernprozess umsetzen, führt das möglicherweise dazu, dass sie auch die spezifischeren Fachkonzepte fachwissenschaftlich richtig in ihre Wissensstruktur integrieren.

VI. Literaturverzeichnis

- Ainley, M. D. (1996, 1998). Interest in learning and the disposition of curiosity in secondary students: Investigation process and context. Paper präsentiert bei der Tagung: Secon Conference on Interest and Gender, Kiel: IPN.
- Ainley, M. D., Hidi, S. & Berndorff, D. (2002). Interest, learning, and the psychological processes that mediate their relationship. *Journal of Educational Psychology*, 94(3), 545-561.
- Alexander, P. A., Kulikowich, J. M. & Schulze, S. K. (1994). How Subject-Matter Knowledge Affects Recall and Interest. *American Educational Research Journal*, 31(2), 313-337.
- Anderson, J. R., Reder, L. M. & Simon, H. A. (1996). Situated Learning and Education. *Educational Researcher*, 25(4), 5-11.
- Arbinger, R. (1991). Wissensdiagnostik. In K. Ingenkamp & R. S. Jäger (Hrsg.), Tests und Trends 9 (S. 80-108). Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Ausubel, D. P. (1968). Educational psychology: a cognitive view. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. & Hanesan, H. (1978). Educational psychology: A cognitive view (2. Aufl.). New York: Holt.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. & Hanesan, H. (1980). Psychologie des Unterrichts (Band 1). Weinheim: Beltz.
- Backhaus, K., Erichsen, B., Plink, W. & Weike, R. (2000). Multivariate Analysemethoden. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Barenholz, H. & Tamir, P. (1992). A comprehensive use of concept mapping in design instruction and assessment. *Research in Science & Technological Education*, 10, 37-52.
- Baron, R. M. & Kenny, D. A. (1986). The Moderator-Mediator Variable Distinction in Social Psychological Research: Conceptual, Strategic, and Statistical Considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(6), 1173-1182.
- Bauhardt, V. M. (1990). Veränderung der Einstellung gegenüber Gliedertieren durch Interaktion mit lebenden Tieren im Biologieunterricht. In W. Killermann (Hrsg.), Münchner Schriften zur Didaktik der Biologie. München.
- Baumert, J. & Köller, O. (1996, 1998). Interest research concerning secondary level I: An overview. Paper präsentiert bei der Tagung: Secon Conference on Interest and Gender, Kiel: IPN.
- Baumert, J. & Lehmann, R. (1997). TIMSS - Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. - Deskriptive Befunde. Opladen: Leske & Budrich.
- Baxter, G. P., Elder, A. D. & Glaser, R. (1996). Knowledge-based cognition and performance assessment in the science classroom. *Educational Psychologist*, 31, 133-140.
- Bayrhuber, H., Hoffmann, L., Hemmer, I., Hemmer, M., Taskinen, P., Hlawatsch, S. & Raffelsiefer, M. (2002). Students' Interest In "System Earth" With Special Consideration Of Biological Aspects. Paper präsentiert bei der Tagung: ERIDOB.
- Bayrhuber, H., Kull, U. & Linder, H. (2005). Linder Biologie: Lehrbuch für die Oberstufe: Gesamtband (22. neu bearbeitete Auflage). Hannover: Schroedel.
- Bayrhuber, H. & Schaefer, G. (1980). Kybernetische Biologie. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Berck, K. H. & Klee, R. (1992). Interesse an Tier- und Pflanzenarten und Handeln im Natur-Umweltschutz. Frankfurt: Lang.
- Bogner, F. (1995). Assoziationstests und Ökologieunterricht/ Umwelterziehung am außerschulischen Lernort. *Verh. d. Ges. f. Ökologie*, 24, 465-470.
- Bonato, M. (1990). Europäische Hochschulschriften (Band 297). Frankfurt am Main: Peter Lang GmbH.

- Bortz, J. (1999). Statistik (5. Auflage). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2002). Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler (3. Auflage). Berlin: Springer.
- Bovair, S. & Kieras, D. (1985). A guide to propositional analysis for research on technical prose. In K. B. Britton & J. B. Black (Hrsg.), Understanding expository text. A theoretical and practical handbook for analyzing explanatory text (S. 315-362). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Bracken, B. A. (1996). Handbook of self-concept. New York: Wiley.
- Brosius, G. & Brosius, F. (1995). SPSS: Base System and Professional Statistic. Bonn: International Thomson Publishing.
- Brown, J. S., Collins, A. & Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher*, 32-42.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In S. Carey & R. Gelman (Hrsg.), The epigenesis of mind. Essays on biology and cognition (S. 257-291). Hillsdale, N. J. : Erlbaum.
- Chi, M. T. H., Glaser, R. & Farr, M. J. (1988). The nature of expertise. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 10(1), 37-46.
- Collins, A. (1991). Cognitive Apprenticeship and Instructional Technology. In L. Idol & B. F. Jones (Hrsg.), Educational Values and Cognitive Instruction: Implications for Reforms (S. 121-138). Hillsdale.
- Collins, A., Brown, J. S. & Newman, S. E. (1989). Cognitive Apprenticeship: Teaching the Crafts of Reading, Writing and Mathematics. In L. B. Resnick (Hrsg.), Knowing, Learning and Instruction (S. 453-494). Hillsdale.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16, 297-334.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1985). Intrinsic motivation and self-determination in human behaviour. New York: Plenum Press.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223-238.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2000). The 'what' and 'why' of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behaviour. *Psychology Inquiry*, 11, 227-268.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2002). Handbook of self-determination research. Rochester, UK: University of Rochester Press.
- Dieckmann, U. (2003). Wie Lerner ein Ökosystem verstehen. Lehr-Lernforschung am Beispiel des außerschulischen Lernortes "Heiliges Meer" (Band 12, S. 63-76). Institut f. d. Didaktik der Biologie der WWU: Münster.
- Duit, R. (2000). Konzeptwechsel und Lernen in den Naturwissenschaften in einem mehrperspektivischen Ansatz. In R. Duit & C. von Rhöneck (Hrsg.), Ergebnisse fachdidaktischer und psychologischer Lehr-Lern-Forschung (S. 77-103). Kiel: IPN.
- Eder, F. (1992). Schulklima und Entwicklung allgemeiner Interessen in der Schule. In A. Krapp & M. Prenzel (Hrsg.), Interesse, Lernen und Leistung (S. 165-194). Kiel.
- Edmondson, K. M. (2000). Assessing Science Understanding through Concept Maps. In J. J. Mintzes & J. H. Wandersee & J. D. Novak (Hrsg.), Assessing Science Understanding. A Human Constructivist View (S. 15-40). San Diego (USA), London (UK): Academic Press.
- Edmondson, K. M. & Novak, J. D. (1993). The Interplay of Scientific Epistemological Views, Learning-Strategies, and Attitudes of College-Students. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(6), 547-559.

- Engeln, K. (2004). Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken. Christian-Albrecht-Universität, Kiel.
- Feldmann, K. (1979). MEAP- Eine Methode zur Erfassung der Alltagstheorien von Professionellen. In B. Schön & K. Hurrelmann (Hrsg.), *Schulalltag und Empirie* (S. 105-122). Weinheim: Beltz.
- Feldsine, J. (1983). Concept mapping: A method for detection of possible student misconceptions. Paper präsentiert bei der Tagung: International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics, Ithaca, NY.
- Fend, H., Knörzer, W., Nagl, W., Specht, W. & Väth-Szuszdiara, R. (1976). Sozialisierungseffekte der Schule - Soziologie in der Schule II. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Fink, B. (1991). Interest development as structural change in person-object relationships. In L. Oppenheimer & J. Valsiner (Hrsg.), *The origin of action: Interdisciplinary and international perspectives* (S. 175-204). New York: Springer.
- Fischler, H. & Peuckert, J. (2000). Concept Mapping in Forschungszusammenhängen. In H. Niedderer & H. Fischler (Hrsg.), *Studien zum Physiklernen* (Band 1, S. 1-22). Berlin: Logos Verlag Berlin.
- Fisseni, H. J. (1990). *Lehrbuch der psychologischen Diagnostik*. Göttingen: Hogrefe.
- Flick, U. (2004). Konstruktivismus. In U. Flick & E. von Kardorff & I. Steinke (Hrsg.), *Qualitative Forschung. Ein Handbuch* (3. Aufl., S. 150-164). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Folling-Albers, M. & Hartinger, A. (1996, 1998). Interest of girls and boys in elementary school. Paper präsentiert bei der Tagung: Seeon Conference on Interest and Gender, Kiel: IPN.
- Fraser, B. J., Walberg, H. J., Welch, W. W. & Hattie, J. A. (1987). Syntheses of educational productivity research. *International Journal of Educational Research*, 11.
- Friege, G. & Lind, G. (2000). Begriffsnetze und Expertise. In H. Fischler & J. Peuckert (Hrsg.), *Studien zum Physiklernen* (Band 1, S. 147-178). Berlin: Logos Verlag Berlin.
- Friege, G. & Lind, G. (2004). Leistungsmessung in Leistungskursen. *MNU*, 57(5), 259-265.
- Gardner, P. L. (1985). Students' Interest in Science and Technology: An International Overview. Paper präsentiert bei der Tagung: Interest in science and technology education. 12th IPN Symposium, Kiel: IPN.
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 867-888.
- Glaser, R. (1991). Expertise and Assessment. In M. C. Wittrock & E. L. Baker (Hrsg.), *Testing and Cognition*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Glaser, R. & Bassok, M. (1989). Learning theory and the study of instruction. *Annual Review of Psychology*, 40, 631-666.
- Glaserfeld, v. (1996). *Radikaler Konstruktivismus: Ideen, Ergebnisse, Probleme*. Frankfurt a. M.: Surkamp.
- Goldsmith, T. E., Johnson, P. J. & Acton, W. H. (1991). Assessing Structural Knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 83(1), 88-96.
- Goodwin, L. D. & Leech, N. L. (2006). Understanding correlation: Factors that affect the size of r. *Journal of Experimental Education*, 74(3), 251-266.
- Guadagnoli, E. & Velicer, W. F. (1988). Relation of sample size to the stability of component patterns. *Psychological Bulletin*, 103, 265-275.
- Hannover, B. (1996, 1998). The Development of Self-Concept and Interest. Paper präsentiert bei der Tagung: Seeon Conference on Interest and Gender, Kiel: IPN.
- Hannover, B. (1997). *Das dynamische Selbst. Die Kontextabhängigkeit selbstbezogenen Wissens*. Bern: Huber.

- Hansford, B. C. & Hattie, J. A. (1982). The relationship between self and achievement/performance measures. *Review of Educational Research*, 52, 123-142.
- Harackiewicz, J. M., Barron, K. E., Tauer, J. M., Carter, S. M. & Elliot, A. J. (2000). Short-term and long-term consequences of achievement goals: Predicting interest and performance over time. *Journal of Educational Psychology*, 92(2), 316-330.
- Hartinger, A. (1997). Interessenförderung - Eine Studie zum Sachunterricht (Band 2). Bad Heilbrunn: Die Deutsche Bibliothek.
- Häußler, P., Frey, K., Hoffmann, L., Rost, J. & Spada, H. (1980). Physikalische Bildung: Eine curriculare Delphi-Studie, Teil 1, IPN-Arbeitsberichte 41. Kiel: IPN.
- Häußler, P. & Hoffmann, L. (1995). Physikunterricht - an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert. *Unterrichtswissenschaft*, 23(2), 107-126.
- Heldt, H.-W. (1996). Pflanzenbiochemie. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Helmke, A. (1992). Selbstvertrauen und schulische Leistungen. Göttingen: Hogrefe - Verlag für Psychologie.
- Herbart, J. F. (1965). Allgemeine Pädagogik, aus dem Zweck der Erziehung abgeleitet. In J. F. Herbart (Hrsg.), *Pädagogische Schriften* (Band 2, S. 9-155). Düsseldorf: Küpper.
- Herl, H. E., Baker, E. L. & Niemi, D. (1996). Construct Validation of an Approach to Modeling Cognitive Structure of U.S. History Knowledge. *The Journal of Educational Research*, 89(4), 206-218.
- Hesse, M. (1984). Empirische Untersuchungen zum Biologie-Interesse bei Schülern der Sekundarstufe I. *Naturwissenschaften im Unterricht / Biologie*, 32, 344-350.
- Hidi, S. (1990). Interest and Its Contribution as a Mental Resource for Learning. *Review of Educational Research*, 60(4), 549-571.
- Hidi, S. (2000). An interest researcher's perspective on the effects of extrinsic and intrinsic factors on motivation. In C. Sansone & J. M. Hackiewicz (Hrsg.), *Intrinsic and extrinsic motivation: The search for optimum motivation and performance* (S. 309-339).
- Hidi, S. & Anderson, V. (1992). Situational interest and its impact on reading and expository writing. In A. Renninger & S. Hidi & A. Krapp (Hrsg.), *The role of interest in learning and development* (S. 215-238). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hidi, S. & Baird, W. (1986). Interestingness - A Neglected Variable in discourse Processing. *Cognitive Science*, 10, 179-194.
- Hidi, S. & Baird, W. (1988). Strategies for increasing text-based interest and students' recall of expository texts. *Reading Research Quarterly*, 23, 465-483.
- Hidi, S. & Berndorff, D. (1996, 1998). Situational Interest and Learning. Paper präsentiert bei der Tagung: Seon Conference on Interest and Gender, Kiel: IPN.
- Hidi, S., Berndorff, D. & Ainley, M. (2002). Children's argument writing, interest and self-efficacy: an intervention study. *Learning and Instruction*, 12(4), 429-446.
- Hidi, S. & Harackiewicz, J. M. (2000). Motivating the academically unmotivated: A critical issue for the 21st century. *Review of Educational Research*, 70(2), 151-179.
- Hidi, S., Renninger, K. A. & Krapp, A. (2004). Interest. A motivational construct that combines affective and cognitive functioning. In D. Dai & R. Sternberg (Hrsg.), *Motivation, emotion and cognition: Integrative perspectives on intellectual functioning and development* (S. 88-115). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hoffmann, L. (2002). Promoting girls' interest and achievement in physics classes for beginners. *Learning and Instruction*, 12, 447-465.
- Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). Die IPN-Interessenstudie Physik. Kiel: IPN.
- Hoffmann, L., Krapp, A., Renninger, A. K. & Baumert, J. (1996, 1998). Interest and learning: Proceedings of the Seon Conference on interest and gender. Paper präsentiert bei der Tagung: Interest and Gender: Issues of Development and Change in Learning, Kiel.
- Hoffmann, L. & Lehrke, M. (1986). Eine Untersuchung über Schülerinteressen an Physik und Technik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 32(2), 189-204.

- Holley, C. D. & Danserau, D. F. (1984). The development of spatial learning strategies. In C. D. Holley & D. F. Danserau (Hrsg.), *Spatial learning strategies. Techniques, applications, and related issues* (S. 3-19). Orlando: Academic Press.
- Honebein, P. C., Duffy, T. M. & Fishman, B. J. (1993). Constructivism and the Designing of Learning Environments: Context and Authentic Activities for Learning. In T. M. Duffy & J. Lowyck & D. H. Jonassen (Hrsg.), *Designing Environments for Constructive Learning* (S. 87-108).
- Jank, W. & Meyer, H. (2003). *Didaktische Modelle* (5. Aufl.). Berlin: Cornelson Verlag Scriptor GmbH & Co.
- Jonassen, D. H., Beissner, K. & Yacci, M. (1993). *Structural Knowledge: Technique for Representing, Conveying, and Acquiring Structural Knowledge*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Kerschensteiner, G. (1922). Der Interessenbegriff in der Pädagogik. *Pädagogische Blätter*, 51, 349-354.
- Killermann, W. (1998). Research into biology teaching methods. *Journal of Biology Education*, 33(1), 4-9.
- Kinchin, I. M. (2000). Using concept maps to reveal understanding: a two-tier analysis. *School Science Review*, 81(296), 41-46.
- Kintsch, W. (1974). The representation of meaning in memory. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Kintsch, W. (1980). Learning from text, levels of comprehension, or: Why anyone would read a story anyway. *Poetics*, 9, 87-98.
- Kintsch, W. & van Dijk, T. A. (1978). Toward a Model of Text Comprehension and Production. *Psychological Review*, 85(5), 363-394.
- Klahr, D. (2000). *Exploring Science. The Cognition and Development of Discovery Processes*. Cambridge: MIT Press.
- Kögel, A., Regel, M., Gehlhaar, K.-H. & Klepel, G. (2000). Biologieinteressen der Schüler. Erste Ergebnisse einer Interviewstudie. In H. Bayrhuber & U. Unterbrunner (Hrsg.), *Lehren und Lernen im Biologieunterricht* (Band 1, S. 32-45). Kiel: IPN.
- Köller, O., Baumert, J. & Schnabel, K. (2001). Does interest matter? The relationship between academic interest and achievement in mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, 32(5), 448-470.
- Köller, O., Schnabel, K. U. & Baumert, J. (2000). Der Einfluß der Leistungsstärke von Schulen auf das fachspezifische Selbstkonzept der Begabung und das Interesse. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 32(2), 70-80.
- Krapp, A. (1992a). Interesse, Lernen und Leistung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 38(5), 747-770.
- Krapp, A. (1992b). Das Interessenkonstrukt - Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. In A. Krapp & M. Prenzel (Hrsg.), *Interessen, Lernen, Leistung* (S. 297-329). Münster: Aschendorffsche Verlagsbuchhandlung GmbH & Co.
- Krapp, A. (1992c). Konzepte und Forschungsansätze zur Analyse des Zusammenhangs von Interesse, Lernen und Leistung. In M. Prenzel & A. Krapp (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung* (S. 9-52). Münster: Aschendorff.
- Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 45, 186-203.
- Krapp, A. (1999). Interest, motivation and learning: An educational-psychological perspective. *European Journal of Psychology of Education*, 14(1), 23-40.
- Krapp, A. (2001). *Interesse*. Weinheim: Beltz PVU.
- Krapp, A. (2002a). An Educational-Psychological Theory of Interest and Its Relation to SDT, The handbook of self-determination research (S. 405-427). Rochester: University of Rochester Press.

- Krapp, A. (2002b). Structural and dynamic aspects of interest development: theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learning and Instruction*, 12, 383-409.
- Krapp, A. (2003a). Nachhaltige Lernmotivation: Ergebnisse und Konsequenzen aus der neueren psychologischen Forschung. In S. f. S. u. Schulforschung (Hrsg.), Nachhaltige Lernmotivation und schulische Bildung (S. 13-27). München: Arbeitskreis Gymnasium und Wirtschaft e.V.
- Krapp, A. (2003b). Nachhaltige Lernmotivation als Ziel von Bildung und Unterricht, Nachhaltige Lernmotivation und schulische Bildung (Band 6, S. 16-40). München: Arbeitskreis Gymnasium und Wirtschaft e.V.
- Krapp, A., Hidi, S. & Renninger, K. A. (1992). Interest, learning and development. In K. A. Renninger & S. Hide & A. Krapp (Hrsg.), The role of interest in learning and development. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Krapp, A. & Prenzel, M. (Hrsg.). (1992). Interessen, Lernen, Leistung (Band 28). Münster: Aschendorffsche Verlagsbuchhandlung GmbH & Co.
- Krapp, A. & Ryan, R. M. (2002). Self-efficacy and motivation to learn - Critical look at Bandura's theory with respect to self-determination theory and educational psychology interest theory. *Zeitschrift Für Pädagogik*, 54-82.
- Kreft, D. (2002). Marine Nahrungsnetze - Vom Fressen und gefressen werden. Entnommen aus dem World Wide Web: http://www.ifm-geomar.de/index.php?id=oz-on_nahrnetz
- Legewie, H. (2005). 12. Vorlesung: Gütekriterien und Qualitätssicherung qualitativer Methoden. Entnommen aus dem World Wide Web: http://www.ztg.tu-berlin.de/download/legewie/Dokumente/Vorlesung_12.pdf
- Lehrke, M. (1988). Interesse und Desinteresse am naturwissenschaftlichen Unterricht. Kiel: IPN.
- Leutner, D. (1992). Das Testlängendilemma in der lernprozessbegleitenden Wissensdiagnostik. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 6(4), 233-238.
- Leutner, D. (1999). Hypothesenprüfung versus interpretative Exploration: Die endlose Debatte zur Funktion quantitativer und qualitativer Analysen in der Lehr-Lernforschung (Kommentar). *Unterrichtswissenschaft*, 4, 323-332.
- Lienert, G. A. & Raatz, V. (1994). Testaufbau und Testanalyse (5. Neuauflage). Weinheim: Beltz.
- Likert, R. (1932). A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 1-55.
- Littig, K. E. & v. Saldern, M. (1983). LASSO- Landauer Skalen zum Sozialklima von Schulklassen (unveröffentlichtes Manuskript): Landau: Zentrum für empirische pädagogische Forschung.
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1993). Das träge Wissen. *Psychologie heute*, 20(9), 64-69.
- Mann, W. C. & Thompson, S. A. (1988). Rhetorical structure theory: Toward a functional theory of text organization. *Text*, 8, 243-281.
- Markham, K., Mintzes, J. J. & Jones, M. G. (1994). The Concept Map as a Research and Evaluation Tool: Further Evidence of Validity. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 91-101.
- Mayring, P. (1999). Qualitativ orientierte Forschungsmethoden in der Unterrichtswissenschaft: Ein Anwendungsbeispiel aus der Lernstrategieforschung. *Unterrichtswissenschaft*, 4, 292-309.
- McClure, J. R., Sonak, B. & Suen, H. K. (1999). Concept map assessment of classroom learning: Reliability, validity, and logistical practicality. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(4), 475-492.
- Meyer, B. J. F. (1975). The organization of prose and its effects on memory. Amsterdam: North-Holland.

- Meyer, B. J. F. (1981). Prose analysis: Procedures, purposes, and problems. Paper präsentiert bei der Tagung: Symposium on Expository Text: Comprehension and Structure at the AERA Convention in Los Angeles.
- Meyer, H. (2004). Theorie und Qualitätsbeurteilung psychometrischer Tests. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer.
- Mintzes, J. J. & Wandersee, H. (1998). Reform and Innovation in Science Teaching: A Human Constructivist View. In J. J. Mintzes & J. H. Wandersee & J. D. Novak (Hrsg.), Teaching Science Understanding. A Human Constructivist View. San Diego, USA: Academic Press.
- Mintzes, J. J. & Wandersee, J. H. (1998). Research in Science Teaching and Learning: A Human Constructive View. In J. J. Mintzes & J. H. Wandersee & J. D. Novak (Hrsg.), Teaching Science Understanding. A Human Constructivist View. San Diego, USA: Academic Press.
- Mintzes, J. J., Wandersee, J. H. & Novak, J. D. (1997). Meaningful learning in science: The human constructive perspective. In G. D. Phye (Hrsg.), Handbook of academic learning. Orlando: Academic Press.
- Mintzes, J. J., Wandersee, J. H. & Novak, J. D. (1998). Teaching Science Understanding. A Human Constructivist View. San Diego, USA, London, UK: Academic Press.
- Mitchell, M. (1993). Situational Interest: Its Multifaceted Structure in the Secondary School Mathematics Classroom. *Journal of Educational Psychology*, 85(3), 424-436.
- Müller, S. (1997). Die Vermittlung ökologischer Phänomene und Zusammenhänge in der Sekundarstufe II am Beispiel der Höheren Pilze. Universität Bielefeld.
- Naceur, A. & Schiefele, U. (2005). Motivation and learning - The role of interest in construction of representation of text and longterm retention: Inter- and intraindividual analyses. *European Journal of Psychology of Education*, XX(2), 155-170.
- Nakhleh, M. B. & Krajcik, J. S. (1991). The effect of level of information as presented by different technology on students' understanding of acid, base, and pH concepts. Paper präsentiert bei der Tagung: annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Lake Geneva, WI.
- Novak, J. D. (1980). Learning theory applied to the biology classroom. *The American Biology Teacher*, 42(5), 280-285.
- Novak, J. D. (1990). Concept Mapping: A Useful Tool For Science Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 937-949.
- Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1984). Learning how to learn. Cambridge: Cambridge University Press.
- Novak, J. D. & Musonda, D. (1991). A Twelve-Year Longitudinal Study of Science Concept Learning. *American Educational Research Journal*, 28(1), 117-153.
- Novak, J. D. & Wandersee, H. (1990). Perspectives on Concept Mapping. *Journal of Research in Science Teaching [special issue]*, 27(10).
- Osmundson, E., Chung, G. K. W. K., Herl, H. E. & Klein, D. C. D. (1999). Knowledge Mapping in the Classroom: A Tool for Examining the Development of Students' Conceptual Understandings. Los Angeles: University of California.
- Ossimitz, G. (2000a). Entwicklung systemischen Denkens - Theoretische Konzepte und empirische Untersuchungen. München, Wien: Profil Verlag GmbH.
- Ossimitz, G. (2000b). Systemisches Denken braucht systemische Darstellungsmittel. Paper präsentiert bei der Tagung: Jahrestagung der GWS, Mannheim.
- Ott, J. (1988). Meereskunde. Stuttgart: E. Ulmer.
- Ozgunor, S. & Guthrie, J. T. (2004). Interactions among elaborative interrogation, knowledge, and interest in the process of constructing knowledge from text. *Journal of Educational Psychology*, 96(3), 437-443.

- Pearsall, N. R., Skipper, J. & Mintzes, J. J. (1997). Knowledge Restructuring in the Life Sciences: A Longitudinal Study of Conceptual Change in Biology. *Science Education*, 81(2), 193-215.
- Piaget, J. (1929). The child's conception of the world. London: Paladin, reprinted 1973.
- Piaget, J. (1972). Psychology and epistemology: Towards a theory of knowledge. London: Penguin Press.
- Prenzel, M. (1988a). Die Wirkungsweise von Interesse. Opladen: Westdeutscher Verlag GmbH.
- Prenzel, M. (1988b). Task persistence and interest. In U. Schiefele (Hrsg.), Content and interest as motivated factors in learning. Symposium conducted at the annual meeting of the American Educational Research Association. New Orleans.
- Prenzel, M. (1992). Selective persistence of interest. In K. A. Renninger & S. Hidi & A. Krapp (Hrsg.), The role of interest in learning and development (S. 71-98). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Prenzel, M. & Krapp, A. (1992). Zur Aktualität der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung. In A. Krapp & M. Prenzel (Hrsg.), Interesse, Lernen und Leistung. Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung (S. 1-8). Münster: Aschendorff.
- Prenzel, M., Krapp, A. & Schiefele, H. (1986). Grundzüge einer pädagogischen Interessentheorie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 32(2), 163-173.
- Reigeluth, C. M. & Stein, F. S. (1983). The elaboration theory of instruction. In C. M. Reigeluth (Hrsg.), Instructional-design theories and models: An overview of their current status (S. 335-381). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Renninger, K. A. (1990). Children's play interest, representation, and activity. In R. Fivush & J. Hudson (Hrsg.), Knowing and remembering in young children (Band III). Cambridge: Cambridge University Press.
- Renninger, K. A. (1992). Individual interest and development: Implications for theory and practice. In A. Renninger & S. Hidi & A. Krapp (Hrsg.), The role of interest in learning and development (S. 361-395). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Renninger, K. A. (2000). Individual interest and its implications for understanding intrinsic motivation. In C. Sansone & J. M. Harackiewicz (Hrsg.), Intrinsic and extrinsic motivation: the search for optimal motivation and performance (S. 373-404). New York: Academic Press.
- Renninger, K. A., Ewen, L. & Lasher, A. K. (2002). Individual interest as context in expository text and mathematical word problems. *Learning and Instruction*, 12(4), 467-491.
- Renninger, K. A., Hidi, S. & Krapp, A. (1992). The role of interest in learning and development. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rolbitzki, D. (1983). Empirische Untersuchungen zu Leistungsmotivation und Schulinteressen bei Hauptschülern am Beispiel des Biologieunterrichts. Frankfurt a. M.
- Rost, J. (2004a). Lehrbuch Testtheorie - Testkonstruktion. Bern: Verlag Hans Huber.
- Ruiz-Primo, M. A. (2000). On the Use Of Concept Maps As An Assessment Tool in Science: What We have Learned so Far. Entnommen aus dem World Wide Web: <http://redie.ens.uabc.mx/vol2no1/contenido-ruizpri.html>
- Ruiz-Primo, M. A., Schultz, S. E., Li, M. & Shavelson, R. J. (2001a). Comparison of the reliability and validity of scores from two concept-mapping techniques. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(2), 260-278.
- Ruiz-Primo, M. A. & Shavelson, R. J. (1996). Problems and Issues in the Use of Concept Maps in Science Assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), 569-600.

- Ruiz-Primo, M. A., Shavelson, R. J., Li, M. & Schultz, S. E. (2001b). On the Validity of Cognitive Interpretations of Scores From Alternative Concept-Mapping Techniques. *Educational Assessment*, 7(2), 99-141.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being. *American Psychologist*, 55(1), 68-78.
- Ryle, G. (1949). *The Concept of Mind*. London: Hutchinson.
- Schanze, S. (2004). Concept Mapping im Projekt med:u - eLearning in der medizinischen Lehre. Ein methodisches Mittel zur Strukturierung komplexer Sachverhalte und zur Kontrolle des Lernerfolgs. In D. Meister & S. O. Tergan & P. Zentel (Hrsg.), *Evaluation von E-Learning. Zielrichtungen, methodologische Aspekte, Zukunftsperspektiven* (S. 171-187). Münster: Waxmann.
- Schau, C., Mattern, N., Weber, R., Minnick, K. & Witt, C. (1997). Use of fill-in concept maps to assess middle school students' connected understanding of science. Paper präsentiert bei der Tagung: AERA Annual Meeting, Chicago, IL.
- Scheele, B. & Groeben, N. (1988). *Dialog-Konsens-Methoden zur Rekonstruktion Subjektiver Theorien*. Tübingen: A. Francke Verlag GmbH.
- Schelten, A. (1980). *Grundlagen der Testbeurteilung und Testerstellung. Teststatistik und Testtheorie für Pädagogen. Ausbilder in der Praxis*. Heidelberg: Quelle & Meyer.
- Schiefele, H. (2000). Befunde - Fortschritte - neue Fragen. In U. Schiefele & K.-P. Wild (Hrsg.), *Interesse und Lernmotivation: Untersuchungen zu Entwicklung, Förderung und Wirkung* (S. 227-241). Münster [u. a.]: Waxmann.
- Schiefele, H., Prenzel, M., Krapp, A., Heiland, A. & Kasten, H. (1983). *Zur Konzeption einer pädagogischen Theorie des Interesses, Gelbe Reihe, Arbeiten zur Empirischen Pädagogik und Pädagogischen Psychologie*, Nr. 6. München: Universität München, Institut für empirische Pädagogik, Pädagogische Psychologie und Bildungsforschung.
- Schiefele, U. (1991). Interest, Learning, and Motivation. *Educational Psychologist*, 26(3 & 4), 299-323.
- Schiefele, U. (1992). Topic interest and levels of text comprehension. In K. A. Renninger & S. Hidi & A. Krapp (Hrsg.), *The role of interest in learning and development* (S. 151-182). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schiefele, U. (1996a). *Motivation und Lernen mit Texten*. Göttingen: Hogrefe.
- Schiefele, U. (1996b). Topic interest, text representation, and quality of experience. *Contemporary Educational Psychology*, 21(1), 3-18.
- Schiefele, U. (1996c, 1998). Individual Interest and Learning - What We Know and What We Don't Know. Paper präsentiert bei der Tagung: Secon Conference on Interest and Gender, Kiel: IPN.
- Schiefele, U. (1999). Interest and learning from text. *Scientific studies of Reading*, 3(3), 257-279.
- Schiefele, U. (2001). The role of interest in motivation and learning. In J. M. Collis & S. Messick (Hrsg.), *Intelligence and personality* (S. 163-194). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Schiefele, U. & Krapp, A. (1996). Topic interest and free recall of expository text. *Learning and Individual Differences*, 8, 141-160.
- Schiefele, U., Krapp, A. & Schreyer, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, XXV(2), 120-148.
- Schiefele, U., Krapp, A. & Winteler, A. (1992). Interest as a Predictor of Academic Achievement: A Meta-Analysis of Research. In K. A. Renninger & S. Hidi & A. Krapp (Hrsg.), *The role of interest in learning and development* (S. 183-212). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Schiefele, U. & Rheinberg, F. (1997). Motivation and knowledge acquisition: searching for mediating processes. In M. L. Maehr & P. Pintrich (Hrsg.), *Advances in motivation and achievement* (Band 10, S. 251-301). London: Jai Press Inc.
- Schiefele, U. & Wild, E. (2000). Interesse und Lernmotivation. Untersuchungen zu Entwicklung, Förderung und Wirkung. Münster [u. a.]: Waxmann.
- Schnotz, W. (1994). Aufbau von Wissensstrukturen: Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten (Band 20). Weinheim: Beltz.
- Schraw, G., Bruning, R. & Svoboda, C. (1995). Sources of situational interest. *Journal of Reading Behaviour*, 27, 1-17.
- Schraw, G. & Demnison, R. (1994). The effect of reader purpose on interest and recall. *Journal of Reading Behaviour*, 26, 1-18.
- Schütz, A. (1971). Gesammelte Aufsätze I: Das Problem der sozialen Wirklichkeit. Den Haag: Nijhoff.
- Schwarzer, R. (1979). Schüler ohne Selbstvertrauen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 25, 181-189.
- Shavelson, R. J. & Ruiz-Primo, M. A. (1999). Leistungsbewertung im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Lernforschung*, 27(2), 102-127.
- Sobel, M. E. (1982). Asymptotic intervals for indirect effects in structural equations models. In S. Leinart (Hrsg.), *Sociological methodology 1982* (S. 290-312). San Francisco: Jossey-Bass.
- Sommer, C. (2006). Untersuchungen der Systemkompetenz von Grundschulern im Bereich Biologie. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Sommer, U. (1996). Algen, Quallen, Wasserfloh. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Sommer, U. (1998). Biologische Meereskunde. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Spector, P. E. (1992). Summated Rating Scale Construction. An Introduction. Newsbury Park, CA: Sage Publications.
- Steinke, I. (2004). Gütekriterien qualitativer Forschung. In U. Flick & E. v. Kardorff & I. Steinke (Hrsg.), *Qualitative Forschung. Ein Handbuch* (3. Aufl., S. 319-331). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Stoddart, T., Abrams, R., Gasper, E. & Canaday, D. (2000). Concept maps as assessment in science inquiry learning - a report of methodology. *International Journal of Science Education*, 22(12), 1221-1246.
- Stracke, I. (2003). Einsatz computerbasierter Concept Maps zur Wissensdiagnose in der Chemie. Christian Albrecht Universität zu Kiel.
- Stracke, I., Urhahne, D., Gräsel, C. & Demuth, R. (2004). Computergestützte Concept Maps. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 8(53), 2-7.
- Tergan, S.-O. (1989). Psychologische Grundlagen der Erfassung individueller Wissensrepräsentation. Teil I: Grundlagen der Wissensmodellierung. *Sprache & Kognition*, 8, 152-165.
- Terhart, E. (1995). Kontrolle von Interpretationen: Validitätsprobleme. In E. König & P. Zedler (Hrsg.), *Bilanz qualitativer Forschung. Band I: Grundlagen qualitativer Forschung* (S. 373-397). Weinheim: Deutscher Studienverlag.
- Tobias, S. (1994). Interest, Prior Knowledge, and Learning. *Review of Educational Research*, 64(1), 37-54.
- Todt, E. (1978). Das Interesse: empirische Untersuchungen zu einem Motivationskonzept. Bern: Huber.
- Todt, E. (1985). Die Bedeutung der Schule für die Entwicklung der Interessen von Kindern und Jugendlichen. *Unterrichtswissenschaft*, 13, 362-376.
- Todt, E. (Hrsg.). (1990). Entwicklung des Interesses. Heidelberg: Quelle & Meier.
- Todt, E. & Händel, B. (1988). Analyse der Kontextabhängigkeit von Physikinteressen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 41(H.3), 137-140.

- Trowbridge, J. E. & Wandersee, H. (1994). Identifying Critical Junctures in Learning in a College Course on Evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(5), 459-473.
- Uhrhahne, D. (2002). Motivation und Verstehen. Marburg: Waxmann Verlag GmbH.
- Vester, F. (1988). Leitmotiv vernetztes Denken. München: Heine.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Wallace, J. D. & Mintzes, J. J. (1990). The Concept map as a Research Tool: Exploring Conceptual Change in Biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 1033-1052.
- Wandersee, J. H. (1990). Concept Mapping and the Cartography of Cognition. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 923-936.
- Weinert, F. E. (1986). Lernen - gegen die Abwertung des Wissens, Lernen - Ereignis und Routine (Band Jahressheft IV, S. 102-104): Friedrich Verlag.
- Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H., Paulsen, A., Robinault, K. & Von Aufschnaiter, S. (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden - Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4(1), 29-44.
- White, R. & Gunstone, R. (1992). Concept Mapping, Probing Understanding (S. 15-43). London, New York, Philadelphia: The Falmer Press.
- Wild, E., Hofer, M. & Pekrun, R. (2001). Psychologie des Lerner. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie - Ein Lehrbuch* (4. Aufl., S. 207-270). Weinheim: Beltz Psychologie Verlag.
- Wilson, T. P. (1982). Qualitative oder quantitative Methoden in der Sozialforschung. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 34, 487-508.
- Wirtz, M. & Caspar, F. (2002). Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität. Göttingen: Hogrefe-Verlag.
- Yin, Y., Vanides, J., Ruiz-Primo, M. A., Ayala, C. C. & Shavelson, R. J. (2005). Comparison of two concept-mapping techniques: Implications for scoring, interpretation, and use. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 166-184.
- Zachow, E. (2003). *Kooperationen zwischen Schulen und außerschulischen Partnern - eine Handreichung: Kooperationsmuster, Tipps, Checklisten*. Berlin: BLK-Programm 21.
- Zöfel, P. (2002). Statistik verstehen. München: Addison-Wesley Verlag.

VII. Anhang

VII.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Relationale Struktur der Bedeutungsvarianten des Interessenkonstrukts	11
Abb. 2: Hypothetischer Zusammenhang zwischen den Interessenvariablen und Einflussvariablen des fachdidaktischen Ansatzes.....	13
Abb. 3: Concept Map (CM) des Begriffs Concept Map	28
Abb. 4: Concept Map Strukturtypen	31
Abb. 5: Kohlenstoffkreislauf in der Deckschicht des Ozeans	41
Abb. 6: Stickstoffkreislauf – ein Concept Map.....	43
Abb. 7: Mariner Nahrungskreislauf mit mikrobieller Schleife	48
Abb. 8: Hypothesen H.2.1 und H.2.2	53
Abb. 9: Hypothesen H.2.1 und H.2.3.1.A und B	54
Abb. 10: Hypothesen H.2.1 und H.2.3.2.A und B	55
Abb. 11: Hypothesen H.2.1 und H.4.A und B	59
Abb. 12: Hypothetischer Zusammenhang zwischen dem Interesse an Naturwissenschaften und dem Interesse an Projektthemen sowie etwaiger Einflussvariablen	84
Abb. 13: Prüfung von Mediatorvariablen für den Zusammenhang zwischen dem Interesse an Naturwissenschaften und dem Interesse an Projektthemen.....	85
Abb. 14: Referenznetz - marine Nahrungsbeziehungen	92
Abb. 15: Schulfachinteresse (Pre-Test)	112
Abb. 16: Berufswunsch (Pre-Test).....	113
Abb. 17: Aktualisiertes individuelles Interesse (Interesse an Projektthemen, Post-Test)	115
Abb. 18: Individuelles Interesse (Interesse an Naturwissenschaften, Pre-Test)	116
Abb. 19: Selbstkonzept im Fach (Pre-Test)	117
Abb. 20: Projektklima (Post-Test)	118
Abb. 21: Innere und äußere Kohärenz (Post-Test)	119
Abb. 22: Projektmanagement (Post-Test).....	120
Abb. 23: Eingehen auf Schülerfragen und -wünsche (Post-Test)	121
Abb. 24: Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (T I) (Post-Test)	123
Abb. 25: Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (Post-Test).....	124
Abb. 26: Interesse an instrumentellen Tätigkeiten (Post-Test).....	125
Abb. 27: Faktenwissen (KNO, KAN R) und Fehlkonzepte (KAN F) (Bio-LK und Projektkurs; Zwischentest)	132
Abb. 28: Strukturwissen (Bio-LK und Projektkurs; Zwischentest).....	132
Abb. 29: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ANHE (MZP I).....	149
Abb. 30: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ANHE (MZP II)	150
Abb. 31: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ANHE (MZP III).....	151
Abb. 32: Faktenwissen und Fehlkonzepte der Schüler des Biologie-Leistungskurses (N= 10)	152

Abb. 33: Strukturwissen der Schüler des	
 Biologie-Leistungskurses (N= 10) über die drei Messzeitpunkte (I-III)	153
Abb. 34: Individuelle Summenscores (IS)	
 der Schüler des Biologie Leistungskurses (N= 10)	157
Abb. 35: Individuelle Summenscores (IS) der Schüler	
 des Biologie-Leistungskurses (N= 10) zu den drei Messzeitpunkten.....	157
Abb. 36: Häufigkeiten der einzelnen Punkteniveaus (0-3)	
 in den drei Messzeitpunkten (MZP)	158
Abb. 37: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler BEUW (MZP I)	244
Abb. 38: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler BEUW (MZP II).....	245
Abb. 39: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler BEUW (MZP III).....	245
Abb. 40: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler BIMA (MZP I)	253
Abb. 41: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler BIMA (MZP II).....	253
Abb. 42: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler BIMA (MZP III)	254
Abb. 43: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler CAHA (MZP I).....	263
Abb. 44: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler CAHA (MZP II).....	264
Abb. 45: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler CAHA (MZP III)	265
Abb. 46: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler COBE (MZP I).....	273
Abb. 47: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler COBE (MZP II)	273
Abb. 48: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler COBE (MZP III).....	274
Abb. 49: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler HEHE (MZP I).....	282
Abb. 50: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler HEHE (MZP II)	283
Abb. 51: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler HEHE (MZP III).....	283
Abb. 52: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler INFR (MZP I).....	291
Abb. 53: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler INFR (MZP II).....	292
Abb. 54: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler INFR (MZP III)	292
Abb. 55: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler KIUW (MZP I).....	300
Abb. 56: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler KIUW (MZP II)	300
Abb. 57: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler KIUW (MZP III).....	301
Abb. 58: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ROHA (MZP I)	309
Abb. 59: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ROHA (MZP II).....	309
Abb. 60: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ROHA (MZP III)	310
Abb. 61: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ROHE (MZP I).....	320
Abb. 62: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ROHE (MZP II).....	320
Abb. 63: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ROHE (MZP III)	321

VII.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Synonyme (Nummern) für Pfeilbeschriftungen der Abb. 6 (Stickstoffkreislauf).....	44
Tabelle 2: Trophieebenen der klassischen marinen Nahrungskette	47
Tabelle 3: Forschungsdesign	64
Tabelle 4: Skalendokumentation (Schema)	69
Tabelle 5: Grafenmaße und Erläuterungen.....	89
Tabelle 6: Synonyme des Referenznetzes	91
Tabelle 7: Bewertungsregeln zur Bestimmung des individuellen Summenscores (IS)....	96
Tabelle 8: Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte in den Concept Maps	100
Tabelle 9: Ermittlung der fachwissenschaftlich falschen Kanten in den Concept Maps	101
Tabelle 10: Korrelationsanalysen zwischen Interessensvariablen und Projektfaktoren	122
Tabelle 11: Korrelationsanalysen zwischen Interessensvariablen und Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens	127
Tabelle 12: Grafenmaße der Wissenserhebung (Bio-LK und Projektkurs; Zwischentest)	131
Tabelle 13: Korrelationsanalyse zwischen dem Selbstkonzept im Fach und Wissen	133
Tabelle 14: Korrelationsanalyse zwischen den Fehlkonzepten und den Projektfaktoren	135
Tabelle 15: Korrelationsanalyse zwischen dem Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie (TI) und Wissen	136
Tabelle 16: Korrelationsanalyse zwischen dem Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten (T II) und Wissen	137
Tabelle 17: Korrelationsanalyse zwischen dem Interesse an instrumentellen Tätigkeiten (T III) und Wissen.....	138
Tabelle 18: Korrelationsanalyse zwischen dem Interesse am Durchführen von Experimenten mit Laborgeräten (T III A) und Wissen in dem Bio-LK und Projektkurs einzeln untersucht.....	139
Tabelle 19: Korrelationsanalyse zwischen Wissen und den Interessen an Naturwissenschaften sowie den Interessen an Projektthemen	140
Tabelle 20: Auflistung der Begriffe der transkribierten Concept Maps des Probanden ANHE.....	145
Tabelle 21: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) des Probanden ANHE.....	145
Tabelle 22: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps	148
Tabelle 23: Korrelationsanalyse des Faktenwissens (Vorwissen und Wissen im Zwischentest)	154
Tabelle 24: Korrelationsanalyse des Faktenwissens (Vorwissen und Wissen im Post-Test)	154
Tabelle 25: Korrelationsanalyse des Strukturwissens (Vorwissen - Zwischentest)	155

Tabelle 26: Korrelationsanalyse des Strukturwissens (Vorwissen - Post-Test)	155
Tabelle 27: Korrelationsanalyse des Strukturwissens (Zwischentest - Post-Test).....	155
Tabelle 28 Korrelationsanalyse der Fehlkonzepte (Zwischentest - Post-Test)	156
Tabelle 29: Vergleich der Gütekriterien qualitativer und quantitativer Forschung.....	184
Tabelle 30: Auflistung der Begriffe der	
transkribierten Concept Maps des Probanden BEUW	240
Tabelle 31: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt	
Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen	
Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel	
(s. Bewertungsschema für IS) des Probanden BEUW	241
Tabelle 32: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps	243
Tabelle 33: Auflistung der Begriffe der	
transkribierten Concept Maps des Probanden BIMA.....	250
Tabelle 34: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt	
Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen	
Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel	
(s. Bewertungsschema für IS) des Probanden BIMA	251
Tabelle 35: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps	252
Tabelle 36: Auflistung der Begriffe der	
transkribierten Concept Maps des Probanden CAHA.....	259
Tabelle 37: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt	
Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen	
Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel	
(s. Bewertungsschema für IS) des Probanden CAHA	260
Tabelle 38: Codierung der Beschriftungen	
der transkribierten Concept Maps (CAHA).....	262
Tabelle 39: Auflistung der Begriffe der	
transkribierten Concept Maps des Probanden COBE	270
Tabelle 40: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt	
Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen	
Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel	
(s. Bewertungsschema für IS) des Probanden COBE.....	271
Tabelle 41: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps	272
Tabelle 42: Auflistung der Begriffe der	
transkribierten Concept Maps des Probanden HEHE.....	279
Tabelle 43: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt	
Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen	
Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel	
(s. Bewertungsschema für IS) des Probanden HEHE.....	280
Tabelle 44: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps	281
Tabelle 45: Auflistung der Begriffe der	
transkribierten Concept Maps des Probanden INFR.....	289
Tabelle 46: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt	

Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel (s. Bewertungsschema für IS) des Probanden INFR	290
Tabelle 47: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps	291
Tabelle 48: Auflistung der Begriffe der transkribierten Concept Maps des Probanden KIUW	297
Tabelle 49: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) des Probanden KIUW	297
Tabelle 50: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps	299
Tabelle 51: Auflistung der Begriffe der transkribierten Concept Maps des Probanden ROHA	306
Tabelle 52: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel (s. Bewertungsschema für IS) des Probanden ROHA	306
Tabelle 53: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps	308
Tabelle 54: Auflistung der Begriffe der transkribierten Concept Maps des Probanden ROHE.....	316
Tabelle 55: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel (s. Bewertungsschema für IS) des Probanden ROHE	317
Tabelle 56: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps	319
Tabelle 57: Falsche Kanten über das Konzept Fotosynthese und Nährstoffe	325
Tabelle 58: Falsche Kanten über das Konzept Respiration heterotropher Lebewesen	328
Tabelle 59: Falsche Kanten über das Konzept einfache Nahrungskette.....	329
Tabelle 60: Falsche Kanten über das Konzept mikrobielle Schleife	331
Tabelle 61: Falsche Kanten über das Konzept Nährstoffkreisläufe.....	332
Tabelle 62: Falsche Kanten über das Konzept Nitrifikation.....	336
Tabelle 63: Übersicht der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte in den Concept Maps der Schüler des Bio-LK (N= 10)	337

VII.3 Fragebögen

VII.3.1 Pre-Test

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

in diesem Fragebogen werden Ihnen Fragen zu Ihrer Person und zu Ihrem Interesse an Naturwissenschaften, an naturwissenschaftlichen Schulfächern und Ihrem Berufswunsch gestellt. Diese Befragung ist kein Test und keine Leistungskontrolle. Sie helfen uns mit Ihren Antworten, außerschulische Lernorte in ihrer Wirksamkeit zu erfassen und gegebenenfalls zu verbessern.

Wir befragen Sie vor Ihrem Projekt und danach. Damit wir die Fragebögen einander zuordnen können, wird jeder befragten Person ein Erkennungscode zugeordnet:

Die ersten beiden Buchstaben des Vornamens Ihrer Mutter	Die ersten beiden Buchstaben des Vornamens Ihres Vaters

Ihre Antworten werden selbstverständlich vertraulich behandelt und können Ihnen nicht zugeordnet werden.

Auf den folgenden Seiten finden Sie verschiedene Aussagen über Interesse. Kreuzen Sie bitte bei jeder Aussage die für Sie am besten zutreffende Antwort an. Machen Sie dabei pro Zeile bitte nur ein Kreuz an den vorgegebenen Kästchen (bitte nicht zwischen zwei Kästchen, da solche Angaben nicht ausgewertet werden können).

Bitte gehen Sie bei der Bearbeitung des Fragebogens möglichst zügig vor und bearbeiten die Aussagen in der vorgegebenen Reihenfolge. Lassen Sie dabei bitte keine Aussage aus. Bei dem Fragebogen gibt es keine richtigen oder falschen Antworten. Kreuzen Sie am besten diejenige Antwort an, die Ihnen als erste einfällt.

Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit!

VII. Anhang - Fragebögen - Pre-Test

Ihr Geschlecht: ☐ weiblich ☐ männlich

Ihr Alter: _____ Jahre

I. Geben Sie bitte an, inwieweit folgende Aussagen auf Sie zutreffen.

	trifft zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
1. Ich sehe mir gerne Fernsehsendungen an, die mit Naturwissenschaften zu tun haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Ich lese gerne Bücher, die naturwissenschaftliche Themen behandeln.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Ich besuche gerne Museen oder Ausstellungen, die mit Naturwissenschaften zu tun haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Ich spreche gerne mit Freundinnen oder Freunden über naturwissenschaftliche Themen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Ich lese gerne in Zeitungen Berichte über naturwissenschaftliche Themen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Wenn eine naturwissenschaftliche Frage auftaucht, lese ich gerne in einem Lehrbuch, Nachschlagewerk oder woanders nach.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Ich möchte gerne einen naturwissenschaftlichen Beruf erlernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Naturwissenschaftliche Forschung kann über Medien (Fernsehen, Zeitungen, Radio etc.) genauso spannend dargestellt werden, wie im persönlichen Kontakt mit WissenschaftlerInnen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

II. Geben Sie bitte an, wie interessant Sie folgende Unterrichtsfächer finden.

	sehr interessant	etwas interessant	weniger interessant	sehr uninteressant
1. Deutsch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Fremdsprachen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Mathematik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Biologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Musik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Kunst	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Sport	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Religion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Physik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Chemie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Geschichte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Geographie/ Erdkunde	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Politik/ Gesellschaftslehre/ Sozialkunde	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Technik/ Werken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

III. Ich werde folgendes Projektthema im Rahmen von NaT-Working „Meeresforschung“
bearbeiten: _____

Das Schulfach, in dem das Projekt eingebunden ist: _____

!!! Anmerkung !!!

Berücksichtigen Sie bitte bei den folgenden Fragen, die sich auf das „**Fach***“ beziehen, das hier genannte Schulfach, in das Ihr Projekt eingebunden ist.

IV. Bitte vervollständigen Sie die folgenden Sätze durch Ankreuzen der Ergänzung, die auf Sie zutrifft:

	sehr interessant	etwas interessant	weniger interessant	sehr uninteressant
1. Ich finde das Fach* ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Ich finde das Projektthema ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	sehr gut	gut	schlecht	sehr schlecht
3. Ich verstehe den Stoff im Fach* ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Ich behalte den Stoff im Fach* ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Meine Leistungen im Fach* sind nach meiner eigenen Einschätzung ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Ich beteilige mich am Fach* -Unterricht ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Ich glaube, dass mich meine Mitschülerinnen und Mitschüler im Fach* für ... halten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Ich glaube, dass mein/e Fach* -Lehrer/in meine Leistungen im Fach* als ... einschätzt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Ich erwarte, dass in Zukunft meine Leistungen im Fach* ... sein werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Geben Sie bitte an, inwieweit die folgenden Aussagen für Sie zutreffen:

	trifft zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
10. Es hat für mich wenig Sinn, dass ich mich im Fach* anstrengende, da ich in diesem Fach doch nicht viel erreichen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Wenn im Fach* eine Aufgabe kompliziert und schwierig wird, macht mir das gerade Spaß und ich bin gespannt, wie ich die Sache hinkriege.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Wenn ich eine neue Aufgabe im Fach* bearbeiten soll, bin ich sicher, dass ich sie schaffen werde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

V. Meine letzte Zeugnisnote in dem **Fach*** war: _____

VI. Geben Sie bitte an, wie Ihr Interesse an folgenden Tätigkeiten ausgeprägt ist:

Mein Interesse am ...	ist sehr groß.	ist groß.	ist gering.	ist sehr gering.
1. Anhören von Vorträgen ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Aufbau einer experimentellen Apparatur bzw. eines Messinstruments ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Erhalten von Erklärungen einer Expertin/ eines Experten von Fachwissen ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Formulieren offener bzw. neu aufgeworfener Fragen ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. selbstständigen Erarbeiten von Fachwissen ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Herstellen von Modellen, Ausstellungsmaterialien etc. ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Erarbeiten von Fachwissen im Gespräch mit einer Wissenschaftlerin/ einem Wissenschaftler ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Analysieren wissenschaftlicher Daten ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Überlegen von Forschungsfragen (Hypothesen) ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. selbstständigen Planen eines Experiments, mit dem eine Forschungsfrage überprüft werden kann ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Arbeiten mit Laborgeräten ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Beschreiben von Forschungsergebnissen ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Probennehmen im Freiland (am Wasser) ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. selbstständigen Beschaffen von Informationen mithilfe von Büchern, Zeitungen, Internet etc. ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Auswerten experimentell gewonnener Daten ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. Erarbeiten von Fachwissen im Gespräch mit meiner Lehrerin/ meinem Lehrer ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Umsetzen eigener Ideen in Experimenten ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Nachdenken darüber, wie ein Experiment besser funktionieren könnte/ optimiert werden könnte ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. kritischen Diskutieren über experimentell gewonnene Ergebnisse ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. Verfassen eines wissenschaftlichen Berichtes ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. Erarbeiten von Fachwissen in einer Arbeitsgruppe ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. Präsentieren von Experimenten bei Ausstellungen ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23. Deuten von Forschungsergebnissen ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24. Durchführen naturwissenschaftlicher Experimente ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25. Beschreiben eines Ablaufes und/ oder Aufbaus eines Experiments ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26. Arbeiten mit Laptops/ Computern ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27. Anschauen von Bild- oder Filmmaterial ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

VII.3.2 Post-Test

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

in diesem Fragebogen werden Ihnen wieder Fragen zu Ihrer Person und zu Ihrem Interesse an Naturwissenschaften, an naturwissenschaftlichen Schulfächern und Ihrem Berufswunsch gestellt. Darüber hinaus finden Sie Fragen zum Projekt. Diese Befragung ist kein Test und keine Leistungskontrolle. Sie helfen uns mit Ihren Antworten, außerschulische Lernorte in ihrer Wirksamkeit zu erfassen und ggf. zu verbessern.

Wie angekündigt befragen wir Sie nun nach Ihrem Projekt erneut. Damit wir die Fragebögen einander zuordnen können, bitten wir Sie um erneute Angabe Ihres Erkennungscode:

Die ersten beiden Buchstaben des Vornamens Ihrer Mutter	Die ersten beiden Buchstaben des Vornamens Ihres Vaters

Ihre Antworten werden selbstverständlich vertraulich behandelt und können Ihnen nicht zugeordnet werden.

Auf den folgenden Seiten finden Sie wieder verschiedene Aussagen über Interesse. Kreuzen Sie bitte bei jeder Aussage die für Sie am besten zutreffende Antwort an. Machen Sie dabei pro Zeile bitte nur ein Kreuz an den vorgegebenen Kästchen (bitte nicht zwischen zwei Kästchen).

Bitte gehen Sie bei der Bearbeitung des Fragebogens möglichst zügig vor und bearbeiten die Aussagen in der vorgegebenen Reihenfolge. Lassen Sie dabei bitte keine Aussage aus. Bei dem Fragebogen gibt es keine richtigen oder falschen Antworten. Kreuzen Sie am besten diejenige Antwort an, die Ihnen als erste einfällt.

Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit!

VII. Anhang - Fragebögen - Post-Test

Ihr Geschlecht: ☐ weiblich ☐ männlich

Ihr Alter: _____ Jahre

I. Geben Sie bitte an, inwieweit folgende Aussagen auf Sie zutreffen.

	trifft zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
1. Fernsehsendungen über Themen, die ich im Projekt behandelt habe, schaue ich mir an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Ich lese Bücher/ werde Bücher lesen, die Themen behandeln, die im Projekt vorkamen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Ich habe gerne Museen oder Ausstellungen besucht oder werde es, die mit Themen aus unserem Projekt zu tun haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Mit Freundinnen oder Freunden spreche ich über Themen, die wir im Projekt behandelt haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Wenn ich in der Zeitung etwas über Dinge finde, die ich im Projekt gehört habe, dann lese ich mir das durch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Um mehr Informationen über Themen zu bekommen, die ich im Projekt behandelt habe, schlage ich in meiner Freizeit auch mal gerne in Lexika oder anderen Nachschlagewerken nach oder recherchiere dazu im Internet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Wenn ich auf dem Flohmarkt ein billiges Buch zu Themen aus dem Projekt finden würde, würde ich es mir kaufen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Ich würde mich nicht mit den Projektthemen beschäftigen, wenn ich es nicht müsste.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Im persönlichen Kontakt mit Wissenschaftlerinnen/ Wissenschaftlern ist mir naturwissenschaftliche Forschung, im Vergleich zu Medien (Fernsehen, Zeitungen, Radio etc.), spannender dargestellt worden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

II. Das Schulfach, in dem das Projekt eingebunden ist bzw. war: _____

1. Hat sich Ihr Interesse an diesem Fach mit der Projektarbeit verändert?

- Nein, ist ungefähr gleich geblieben. ☐
- Ja, ist größer geworden. ☐
- Ja, ist geringer geworden. ☐

Wenn ja, geben Sie bitte an, warum Ihr Interesse größer oder kleiner geworden ist:

2. Hat sich Ihr Interesse durch Ihre Projektteilnahme in einem anderen Fach verändert?

Nein ☐ Ja ☐

Wenn Ja, in welchem Fach und wie hat sich Ihr Interesse verändert?

3. Durch die Projektteilnahme hat sich mein Berufswunsch geändert.

Nein ☐ Ja ☐

Warum Ja, bzw. warum Nein:

III. Geben Sie bitte an, inwieweit Sie folgenden Aussagen in Bezug auf Ihr Projekt zustimmen.

	trifft zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
1. Das Projekt war abwechslungsreich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler ist mir in manchem ein Vorbild.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Ich war neugierig darauf, was wir an unserem nächsten Projekttag lernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Ich habe es bedauert/ Ich hätte es bedauert, wenn ein Projekttag ausfiel/ ausgefallen wäre.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. In dem Projekt wurde ich angeregt, mich auch in meiner Freizeit mit Naturwissenschaften zu beschäftigen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Ich habe mich auf die Projektstage gefreut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Im Projektkurs fühlte ich mich wohl.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Die Schülerinnen und Schüler diskutierten untereinander über projektbezogene Probleme und Sachverhalte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Im Projektkurs gab es etwas Neues für mich zu entdecken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Am Anfang des Projekts haben wir eine Übersicht erstellt, über die Themen, die wir im Projekt behandeln werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Über die persönliche Bedeutung unseres Projektthemas bin ich mir im Klaren (z. B. im Alltag, in der Schule).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Am Anfang des Projekts haben wir uns zunächst einen allgemeinen Überblick über die Projekteinhalte erarbeitet und uns dann mit Details beschäftigt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. An einzelnen Projekttagen haben wir Beziehungen zu dem hergestellt, was wir schon wussten bzw. was wir schon bearbeitet hatten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler gab uns Hinweise darauf, wie wir das, was wir im Projekt lernen, im Alltag anwenden können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Bei den Probennahmen bzw. Experimenten war mir klar, worauf ich achten muss.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler ging, wenn wir daran interessiert waren, auf Themen ein, die im Fernsehen oder in der Zeitung behandelt wurden/ werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler verwendete viele Fachbegriffe, die mir nicht vertraut waren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Im Projekt fand zwischen den Schülern und Schülerinnen ein Wettkampf um bessere Zensuren statt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler bemühte sich mehr um die besseren als um die schlechteren Schüler/innen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. Im Projektkurs war es so unruhig, dass ich mich nicht konzentrieren konnte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. Bei den Probennahmen/ Experimenten konnten nur einige Schüler/innen etwas tun und die anderen mussten zuschauen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fortsetzung der Tabelle zu:

III. Geben Sie bitte an, inwieweit Sie folgenden Aussagen in Bezug auf Ihr Projekt zustimmen.

	trifft zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
22. Im Projekt wurden einzelne Themen so schnell durchgenommen, dass ich Schwierigkeiten hatte, mitzukommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23. Die Probennahmen/ Experimente waren für mich unbefriedigend, da immer alles durcheinander ging.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24. Wenn es im Projekt gerade interessant wurde, gingen wir schon zum nächsten Thema.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25. Wir Schüler/innen hatten im Projekt Gelegenheit, uns zu Wort zu melden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26. Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler stellte im Verlauf der Projektstage viele Fragen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27. Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler ging bereitwillig auf Fragen von Schülern und Schülerinnen ein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28. Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler war auch zwischen einzelnen Projekttagen für Fragen erreichbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

IV. Geben Sie bitte an, wie Ihr Interesse an folgenden **Tätigkeiten im Projekt** war bzw. ist.

Mein Interesse am ...	ist sehr groß.	ist groß.	ist gering.	ist sehr gering.
1. Anhören von Vorträgen ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Aufbau einer experimentellen Apparatur bzw. eines Messinstruments ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Erhalten von Erklärungen einer Expertin/ eines Experten von Fachwissen ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Formulieren offener bzw. neu aufgeworfener Fragen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. selbstständigen Erarbeiten von Fachwissen ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Herstellen von Modellen, Ausstellungsmaterialien etc. ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Erarbeiten von Fachwissen im Gespräch mit einer Wissenschaftlerin/ einem Wissenschaftler ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Analysieren wissenschaftlicher Daten ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Überlegen von Forschungsfragen (Hypothesen) ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. selbstständigen Planen eines Experiments, mit dem eine Forschungsfrage überprüft werden kann ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Arbeiten mit Laborgeräten ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Beschreiben von Forschungsergebnissen ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Probennehmen im Freiland (am Wasser) ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. selbstständigen Beschaffen von Informationen mithilfe von Büchern, Zeitungen, Internet etc. ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Auswerten experimentell gewonnener Daten ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fortsetzung zu:

IV. Geben Sie bitte an, wie Ihr Interesse an folgenden **Tätigkeiten im Projekt** war bzw. ist.

Mein Interesse am ...	ist sehr groß.	ist groß.	ist gering.	ist sehr gering.
16. Erarbeiten von Fachwissen im Gespräch mit meiner Lehrerin/ meinem Lehrer ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Umsetzen eigener Ideen in Experimenten ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Nachdenken darüber, wie ein Experiment besser funktionieren könnte/ optimiert werden könnte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. kritischen Diskutieren über experimentell gewonnene Ergebnisse ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. Verfassen eines wissenschaftlichen Aufsatzes/ Berichtes ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. Erarbeiten von Fachwissen in einer Arbeitsgruppe ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. Präsentieren von Experimenten bei Ausstellungen ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23. Deuten von Forschungsergebnissen ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24. Durchführen naturwissenschaftlicher Experimente ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25. Beschreiben eines Ablaufes und/ oder Aufbaus eines Experiments ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26. Arbeiten mit Laptops/ Computern ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27. Anschauen von Bild- oder Filmmaterial ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Welche Tätigkeiten haben Ihnen im Projekt am meisten Spaß gemacht?

VII.3.2.1 Entferntes Item aus Fragebogen (Post-Test)

V. Geben Sie bitte eine Einschätzung darüber, wie hoch der Anteil an folgenden **Tätigkeiten** während des Projektkurses war.

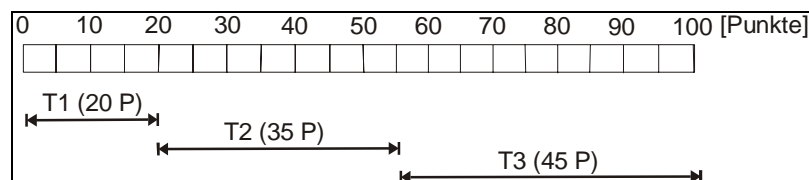
T I: Beschäftigung mit der Theorie

T II: Forschungsdiskussion durchführen¹³⁰ (Forschungsfragen formulieren, einen experimentellen Ablauf planen und beschreiben, experimentelle Daten auswerten etc.)

T III: Instrumentelle Tätigkeiten (eine Messapparatur aufbauen, mit Laborgeräten arbeiten)

Verteilen Sie die Tätigkeiten bitte mit Punkten (in 5er Schritten) an der vorgegebenen Skala:

Beispielskala:



Ihre Skala:

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 [Punkte]

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

¹³⁰ Die Tätigkeitskategorie T II wurde am Anfang „eine Forschungsdiskussion durchführen“ genannt. Später wurde die Kategorie als theoretisch-konstruktive Tätigkeiten bezeichnet.

VII.4 Skalendokumentation (Vorstudie)

Skalendokumentation der Erhebung des „Informationsinteresses in der Freizeit an Naturwissenschaften“ (Pre-Test)

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP I
- Skala: vierstufig: trifft zu [4] ... trifft nicht zu [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Faktor 1:
Informationsinteresse in der Freizeit gegenüber Physik und Technik.

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Freiz1	3,21	0,77	0,46	0,71	0,64
Freiz2	2,28	0,86	0,64	0,65	0,8
Freiz3	2,41	0,79	0,37	0,73	0,57 ¹³¹
Freiz4	2,54	0,94	0,41	0,72	0,59 ¹³²
Freiz5	3,08	0,9	0,62	0,66	0,8
Freiz6	2,41	0,94	0,38	0,73	0,56 ¹³³
Skala	Eigenwert = 2,67 α = 0,74 KMO = 0,709 M = 2,65 SD = 0,57 N = 39 Items = 6				

Items:

- Freiz1 - Ich sehe mir gerne Fernsehsendungen an, die mit Naturwissenschaften zu tun haben.
- Freiz2 - Ich lese gerne Bücher, die naturwissenschaftliche Themen behandeln.
- Freiz3 - Ich besuche gerne Museen oder Ausstellungen, die mit Naturwissenschaften zu tun haben.
- Freiz4 - Ich spreche gerne mit Freundinnen oder Freunden über naturwissenschaftliche Themen.
- Freiz5 - Ich lese gerne in Zeitungen Berichte über naturwissenschaftliche Themen.
- Freiz6 - Wenn eine naturwissenschaftliche Frage auftaucht, lese ich gerne in einem Lehrbuch, Nachschlagewerk oder woanders nach.

¹³¹ Kritische Faktorladung, da <0,6.

¹³² Kritische Faktorladung, da <0,6.

¹³³ Kritische Faktorladung, da <0,6.

Skalendokumentation der Erhebung des „Selbstkonzepts im Fach“ (Pre-Test)

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP I
- Skala: vierstufig: sehr gut [4] ... sehr schlecht [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Auf das Fach Physik bezogenes Selbstkonzept (S. 65f.).

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Selbst1	3,26	0,55	0,62	0,86	0,74
Selbst2 ¹³⁴	2,87	0,47	0,39	0,88	0,46
Selbst3	2,92	0,63	0,78	0,85	0,85
Selbst4	2,92	0,66	0,7	0,85	0,8
Selbst5	2,95	0,7	0,74	0,85	0,84
Selbst6	2,97	0,6	0,74	0,85	0,8
Selbst7	3,44 ¹³⁵	0,5	0,45	0,87	0,53
Selbst8	3,69 ¹³⁶	0,61	-- ¹³⁷	--	--
Selbst9	2,82	0,82	0,57	0,87	0,66
Selbst10	3,0	0,69	0,56	0,87	0,65
Skala	Eigenwert = 4,7 α = 0,87 KMO = 0,75 M = 3,02 SD = 0,45 N = 38 Items: 9				

Items:

Selbst1 - Ich verstehe den Stoff im Fach ...

Selbst2 - Ich behalte den Stoff im Fach ...

Selbst3 - Meine Leistungen im Fach sind nach meiner eigenen Einschätzung ...

Selbst4 - Ich beteilige mich am Fach-Unterricht ...

Selbst5 - Ich glaube, dass mich meine Mitschülerinnen und Mitschüler im Fach für ... halten.

Selbst6 - Ich glaube, dass mein/e Fach-Lehrer/in meine Leistungen im Fach als ... einschätzt.

Selbst7 - Ich erwarte, dass in Zukunft meine Leistungen im Fach ... sein werden.

Selbst8 - Es hat für mich wenig Sinn, dass ich mich im Fach anstrengte, da ich in diesem Fach doch nicht viel erreichen kann.

Selbst9 - Wenn im Fach eine Aufgabe kompliziert und schwierig wird, macht mir das gerade Spaß und ich bin gespannt, wie ich die Sache hinkriege.

Selbst10 - Wenn ich eine neue Aufgabe im Fach bearbeiten soll, bin ich sicher, dass ich sie schaffen werde.

¹³⁴ Item selbst2 wurde aufgrund zu geringer Faktorladung (0,49) als kritisches Item eingestuft. Falls die Faktorladung in der Hauptstudie >0,6 ist, kann das Item dort aufgenommen werden.

¹³⁵ Itemschwierigkeit zu gering. Das Item wurde als kritisches Item eingestuft.

¹³⁶ Itemschwierigkeit zu gering, außerdem ist die Faktorladung gering (0,53).

¹³⁷ Item Selbst8 wurde entfernt, weil die Trennschärfe mit 0,27 kritisch ist und die Faktorladung < 0,4 ist.

Skalendokumentation der Erhebung des „durch das Projekt indizierten Informationsinteresses in der Freizeit an Projektthemen“ (Post-Test)

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III
- Skala: vierstufig: trifft zu [4] ... trifft nicht zu [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Das durch den Physikunterricht induzierte Interesse an Physik (S. 23f.), ohne Item 5¹³⁸; erweitert um die fehlenden Items des im Pre-Test erhobenen Freizeit-interesses.

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Freiz1n	3,18	0,68	0,62	0,74	0,77
Freiz2n	2,23	0,78	0,52	0,76	0,65
Freiz3n	2,64	0,81	0,59	0,74	0,75
Freiz4n	2,87	0,83	0,36	0,78	0,47 ¹³⁹
Freiz5n	3,36	0,71	0,51	0,76	0,64
Freiz6n	2,28	0,89	0,49	0,76	0,66
Freiz7n	2,23	0,84	0,49	0,76	0,67
Freiz8n	2,81	0,98	0,4	0,78	0,5 ¹⁴⁰
Skala	Eigenwert = 3,33 α = 0,78 KMO = 0,73				
	M = 2,67 SD = 0,51 N = 36 Items = 8				

Items:

Freiz1n - Fernsehsendungen über Themen, die ich im Projekt behandelt habe, schaue ich mir an.

Freiz2n - Ich lese Bücher/ werde Bücher lesen, die Themen behandeln, die im Projekt vorkamen.

Freiz3n - Ich habe gerne Museen oder Ausstellungen besucht oder werde es, die mit Themen aus unserem Projekt zu tun haben.

Freiz4n - Mit Freundinnen oder Freunden spreche ich über Themen, die wir im Projekt behandelt haben.

Freiz5n - Wenn ich in der Zeitung etwas über Dinge finde, die ich im Projekt gehört haben, dann lese ich mir das durch.

Freiz6n - Um mehr Informationen über Themen zu bekommen, die ich im Projekt behandelt habe, schlage ich in meiner Freizeit auch mal gerne in Lexika oder anderen Nachschlagewerken nach oder recherchiere dazu im Internet.

Freiz7n - Wenn ich auf dem Flohmarkt ein billiges Buch zu Themen aus dem Projekt finden würde, würde ich es mir kaufen.

Freiz8n - Ich würde mich nicht mit den Projektthemen beschäftigen, wenn ich es nicht müsste¹⁴¹.

¹³⁸ Item 5: Durch den Physikunterricht ist mein Interesse an Naturwissenschaften größer geworden. Dieses Item wurde in der Vorstudie nicht in die Skala aufgenommen, da es an anderer Stelle erhoben wird (s. Schulfachinteresse).

¹³⁹ Kritisches Item, da Ladung <0,6. Falls in Hauptstudie repliziert, wird das Item in die Skala aufgenommen.

¹⁴⁰ Kritisches Item, da Ladung <0,6. Falls in Hauptstudie repliziert, wird das Item in die Skala aufgenommen.

¹⁴¹ Item Freiz8n wurde für die Auswertungen umcodiert.

Skalendokumentation der Erhebung der Projektfaktoren (Post-Test)

Projektklima

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III
- Skala: vierstufig: sehr gut [4] ... sehr schlecht [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Faktor 1: Interesse stimulierendes Unterrichtsklima (S. 81f.).

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Klima1	3,82 ¹⁴²	0,39	0,35	0,77	0,47
Klima2 ¹⁴³	2,72	0,86	0,29	0,79	0,39
Klima3	3,34	0,75	0,51	0,75	0,69
Klima4	3,5 ¹⁴⁴	0,83	0,49	0,75	0,64
Klima5	2,53	0,76	0,49	0,75	0,58
Klima6	3,51 ¹⁴⁵	0,72	0,64	0,73	0,80
Klima7	3,77 ¹⁴⁶	0,54	0,66	0,73	0,81
Klima8	2,87	0,62	0,38	0,77	0,44
Klima9	3,56 ¹⁴⁷	0,72	0,45	0,76	0,60
Skala	Eigenwert = 3,45 α = 0,78 KMO = 0,59 M = 3,27 SD = 0,43 N = 35 Items: 9				

Items:

Klima1 - Das Projekt war abwechslungsreich.

Klima2 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler ist mir in manchem ein Vorbild.

Klima3 - Ich war neugierig darauf, was wir an unserem nächsten Projekttag lernen.

Klima4 - Ich habe es bedauert/ Ich hätte es bedauert, wenn ein Projekttag ausfiel/ ausgefallen wäre.

Klima5 - In dem Projekt wurde ich angeregt, mich auch in meiner Freizeit mit Naturwissenschaften zu beschäftigen.

Klima6 - Ich habe mich auf die Projektstage gefreut.

Klima7 - Im Projektkurs fühlte ich mich wohl.

Klima8 - Die Schülerinnen und Schüler diskutierten untereinander über projektbezogene Probleme und Sachverhalte.

Klima9 - Im Projektkurs gab es etwas Neues für mich zu entdecken.

¹⁴² Kritische Itemschwierigkeit, da > 3,4.

¹⁴³ Das Item Klima2 ist ein kritisches Item, denn die Faktorladung ist sehr gering.

¹⁴⁴ Kritische Itemschwierigkeit, da > 3,4.

¹⁴⁵ Kritisches Item, da Itemschwierigkeit > 3,4.

¹⁴⁶ Kritische Itemschwierigkeit, da > 3,4.

¹⁴⁷ Kritische Itemschwierigkeit, da > 3,4.

Innere und äußere Kohärenz

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III
- Skala: vierstufig: sehr gut [4] ... sehr schlecht [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Faktor 2: Innere und äußere Kohärenz des Unterrichts (S. 81f.).

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Kohä10	2,85	1,27	0,72	0,8	0,83
Kohä11	3,23	0,84	0,44	0,85	0,57
Kohä12	2,82	1,19	0,79	0,78	0,87
Kohä13	3,41 ¹⁴⁸	0,79	0,69	0,81	0,8
Kohä14	2,64	1,06	0,79	0,78	0,88
Kohä15	3,41 ¹⁴⁹	0,68	0,38	0,86	0,5 ¹⁵⁰
Kohä16	3,21	0,84	--	--	-- ¹⁵¹
Skala	Eigenwert = 3,44 α = 0,84 KMO = 0,74 M = 3,06 SD = 0,75 N = 39 Items = 6				

Anmerkung zur Faktorenanalyse:

Die Hauptkomponentenmatrix zeigt, dass 5 Items mit Faktorladungen >0,6 auf einen Faktor laden, ein Item lädt auf keinen Faktor mit mindestens 0,5 und ein Item lädt auf einen anderen Faktor.

Items¹⁵²:

Kohä10 - Am Anfang des Projekts haben wir eine Übersicht erstellt, über die Themen, die wir im Projekt behandeln werden.

Kohä11 - Über die persönliche Bedeutung unseres Projektthemas bin ich mir im Klaren (z. B. im Alltag, in der Schule).

Kohä12 - Am Anfang des Projekts haben wir uns zunächst einen allgemeinen Überblick über die Projekthinhalte erarbeitet und uns dann mit Details beschäftigt.

Kohä13 - An einzelnen Projekttagen haben wir Beziehungen zu dem hergestellt, was wir schon wussten bzw. was wir schon bearbeitet hatten.

Kohä14 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler gab uns Hinweise darauf, wie wir das, was wir im Projekt lernen, im Alltag anwenden können.

Kohä15 - Bei den Probennahmen bzw. Experimenten war mir klar, worauf ich achten muss.

Kohä16 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler ging, wenn wir daran interessiert waren, auf Themen ein, die im Fernsehen oder in der Zeitung behandelt wurden/ werden.

¹⁴⁸ Kritisches Item. Itemschwierigkeit >3,4.

¹⁴⁹ Kritisches Item. Itemschwierigkeit >3,4.

¹⁵⁰ Kritisches Item, da die Faktorladung gering ist. Das Item wird in der Hauptstudie nur in die Skala einbezogen, wenn die Ladung repliziert wird.

¹⁵¹ Das Item Kohä16 wurde entfernt, da das Cronbachs alpha dann von 0,79 auf 0,84 steigt und, weil die Trennschärfe mit 0,02 zu gering ist.

¹⁵² Die eigene Itemauswahl erfolgt nach inhaltlichen Kriterien und nach den Faktorladungen bei Hoffmann et al. (1998). Nicht aufgenommen wurden 12. und 5. von Hoffmann et al. (1998). Das Item 10 wurde, trotz mäßiger Ladung auf den Faktor bei Hoffmann et al (1998), inhaltlich leicht verändert aufgenommen. Das Item 16 ist ein unsicheres Item, denn bei Hoffmann et al. (1998) zeigten sich nur mäßige Faktorladungen.

Projektmanagement

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III

- Skala: vierstufig: sehr gut [4] ... sehr schlecht [1]

Anmerkung zur Skalierung: Die Skala ist ursprünglich negativ codiert.

Für die Berechnungen wurden die Daten vorher umcodiert.

- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Faktor 3: Schlechtes Unterrichtsmanagement (S. 81f.).

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Mana17	3,49	0,56	--	--	-- ¹⁵³
Mana18	3,89	0,31	-- ¹⁵⁴	--	--
Mana19 ¹⁵⁵	3,87	0,34	0,22	0,73	0,36
Mana20	3,72	0,65	0,41	0,69	0,59
Mana21	3,31	0,73	0,54	0,65	0,73
Mana22	3,62	0,63	0,39	0,70	0,58
Mana23	3,59	0,72	0,71	0,59	0,86
Mana24	3,68	0,57	0,44	0,68	0,65
Skala	Eigenwert = 2,52 α = 0,72 KMO = 0,59 M = 3,63 SD = 0,40 N = 38 Items: 6				

Die Itemschwierigkeit ist hier für alle Items kritisch.

Items:

Mana17 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler verwendete viele Fachbegriffe, die mir nicht vertraut waren.

Mana18 - Im Projekt fand zwischen den Schülerinnen und Schülern ein Wettkampf um bessere Zensuren statt.

Mana19 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler bemühte sich mehr um die besseren als um die schlechteren Schülerinnen und Schüler.

Mana20 - Im Projektkurs war es so unruhig, dass ich mich nicht konzentrieren konnte.

Mana21 - Bei den Probennahmen/ Experimenten konnten nur einige Schüler/innen etwas tun und die anderen mussten zuschauen.

Mana22 - Im Projekt wurden einige Themen so schnell durchgenommen, dass ich Schwierigkeiten hatte, mitzukommen.

Mana23 - Die Probennahmen/ Experimente waren für mich unbefriedigend, da immer alles durcheinander ging.

Mana24 - Wenn es im Projekt gerade interessant wurde, gingen wir schon zum nächsten Thema.

¹⁵³ Das Item Mana17 wurde entfernt, da das Cronbachs alpha dann von 0,64 auf 0,67 steigt und die Trennschärfe mit 0,06 zu gering ist.

¹⁵⁴ Das Item Mana18 wurde entfernt, da die Trennschärfe zu gering ist (0,19).

¹⁵⁵ Das Item Mana19 ist ein kritisches Item, da die Faktorladung gering ist.

Skalendokumentation des „Eingehens auf Schülerfragen und -wünsche“

Kurzbeschreibung:

Messzeitpunkte: MZP III

Skala: vierstufig: sehr gut [4] ... sehr schlecht [1]

Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Faktor 4: Eingehen auf Schülerfragen und -wünsche (S. 81f.).

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Schüle25	3,62 ¹⁵⁶	0,544	0,37	0,38	0,73
Schüle26	2,97	0,71	0,28	0,43	0,63
Schüle27 ¹⁵⁷	3,79 ¹⁵⁸	0,47	--	--	--
Schüle28	2,74	1,21	0,4	0,29	0,79
Skala	Eigenwert = 1,55 α = 0,49 KMO = 0,584 M = 3,11 SD = 0,61 N = 39 Items: 3				

Die Skala kann nicht verwendet werden, da das Cronbachs alpha mit 0,49 zu gering ist. Die Items werden einzeln betrachtet.

Items:

Schüle25 - Wir Schüler/innen hatten im Projekt Gelegenheit, uns zu Wort zu melden.

Schüle26 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler stellte im Verlauf der Projektstage viele Fragen.

Schüle27 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler ging bereitwillig auf Fragen von Schülern und Schülerinnen ein.

Schüle28 - Die Wissenschaftlerin/ der Wissenschaftler war auch zwischen einzelnen Projekttagen für Fragen erreichbar.

¹⁵⁶ Kritisches Item, Itemschwierigkeit >3,4.

¹⁵⁷ Das Item musste aufgrund der zu geringen Faktorladung in Faktorenanalyse entfernt werden.

¹⁵⁸ Kritisches Item, Itemschwierigkeit >3,4.

Skalendokumentation der Erhebung der Interessen an Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens (Post-Test)

Das Interesse an Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen wird, ausgehend von der Dimension „Tätigkeit“ des Sachinteresses von Hoffmann et al. (1998), mit Items zu drei Tätigkeitsbereichen erhoben. Die Tätigkeitsbereiche sind:

- (T I) Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie,
- (T II) Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten und
- (T III) Interesse an instrumentellen Tätigkeiten.

(T I) „Interesse an der Beschäftigung mit der Theorie“

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III
- Skala: Mein Interesse am ... ist ...
vierstufiges Antwortformat: sehr groß [4] ... sehr gering [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Dimension „Tätigkeiten“ des Sachinteresses.

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Ti1n	2,53	0,73	0,47	0,75	0,62
Ti3n	2,92	1,00	0,54	0,73	0,72
Ti5n	3,03	0,85	0,47	0,75	0,62
Ti7n	3,00	0,81	0,53	0,74	0,67
Ti14n	2,68	0,87	0,37	0,76	0,5 ¹⁵⁹
Ti16n	2,92	0,71	0,49	0,75	0,64
Ti21n	3,03	0,85	0,61	0,72	0,74
Ti27n	3,34	0,78	0,31	0,77	0,44 ¹⁶⁰
Skala	Eigenwert = 3,132 $\alpha = 0,77$ KMO = 0,694 M = 2,93 SD = 0,51 N = 38 Items = 8				

Items:

- Ti1- Anhören von Vorträgen ...
- Ti3 - Erhalten von Erklärungen einer Expertin/ eines Experten von Fachwissen ...
- Ti5 - selbstständigen Erarbeiten von Fachwissen ...
- Ti7 - Erarbeiten von Fachwissen im Gespräch mit einer/m Wissenschaftlerin/ Wissenschaftler ...
- Ti14 - selbstständigen Beschaffen von Informationen
mithilfe von Büchern, Zeitungen, Internet etc. ...
- Ti16- Erarbeiten von Fachwissen im Gespräch mit meiner Lehrerin/ meinem Lehrer ...
- Ti21 - Erarbeiten von Fachwissen in einer Arbeitsgruppe ...
- Ti27 - Anschauen von Bild- oder Filmmaterial ...

¹⁵⁹ Kritische Faktorladung, da $< 0,6$.

¹⁶⁰ Kritische Faktorladung, da $< 0,6$.

(T II) „Interesse an theoretisch konstruktiven Tätigkeiten“

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III

- Skala: Mein Interesse am ... ist ...
vierstufiges Antwortformat: sehr groß [4] ... sehr gering [1]

- Quelle: In Anlehnung an die Dimension „Tätigkeiten“ des Sachinteresses (Hoffmann et al., 1998) und das kognitive Modell zum Experimentieren (Klahr, 2000).

Item	M	SD	r	a	Faktorladung
Tii4	2,76	0,79	0,45	0,80	0,57
Tii8	2,38	0,86	0,49	0,80	0,61
Tii9	2,62	1,01	0,41	0,81	0,56
Tii10	2,70	0,81	0,49	0,80	0,60
Tii12	2,27	0,84	--	--	--
Tii15	2,81	0,88	0,67	0,78	0,78
Tii17	3,08	0,83	0,55	0,79	0,67
Tii18	2,68	0,94	0,36	0,82	0,48
Tii19	2,68	0,92	0,61	0,78	0,72
Tii20	1,87	0,95	--	--	--
Tii23	2,78	0,71	0,64	0,78	0,75
Tii25	2,49	0,87	--	--	--
Skala: Eigenwert = 3,75 $\alpha = 0,81$ KMO = 0,66					
M = 2,72 SD = 0,55 N = 37 Items = 9					

Items:

Tii4 - Formulieren neu aufgeworfener Fragen ...

Tii8 - Analysieren wissenschaftlicher Daten ...

Tii9 - Überlegen von Forschungsfragen (Hypothesen) ...

Tii10 - selbstständigen Planen eines Experiments,
mit dem eine Forschungsfrage überprüft werden kann ...

Tii12 - Beschreiben von Forschungsergebnissen ...

Tii15 - Auswerten experimentell gewonnener Daten ...

Tii17 - Umsetzen eigener Ideen in Experimenten ...

Tii18 - Nachdenken darüber, wie ein Experiment besser funktionieren/ optimiert werden könnte ...

Tii19 - kritischen Diskutieren über experimentell gewonnene Ergebnisse ...

Tii20 - Verfassen eines wissenschaftlichen Aufsatzes/ Berichtes ...

Tii23 - Deuten von Forschungsergebnissen ...

Tii25 - Beschreiben eines Ablaufes und/ oder Aufbaus eines Experiments ...

(T III) „Interesse an instrumentellen Tätigkeiten“

Kurzbeschreibung:

- Messzeitpunkte: MZP III
- Skala: Mein Interesse am ... ist ...
vierstufiges Antwortformat: sehr groß [4] ... sehr gering [1]
- Quelle: In Anlehnung an Hoffmann et al. (1998). Dimension „Tätigkeiten“ des Sachinteresses.

Item	M	SD	r	a	Faktorladung A	Faktorladung B
Tiii2	2,71	0,90	0,46	0,58	0,73	-
Tiii6 ¹⁶¹	2,97	1,03	-	--	--	--
Tiii11	3,00	0,99	0,42	0,59	0,73	--
Tiii13	3,63	0,59	0,63	0,56	--	0,67
Tiii22	2,61	0,92	0,22	0,66	--	0,69
Tiii24	3,21	0,74	0,32	0,63	0,72	--
Tiii26	3,03	1,13	0,37	0,62	--	0,77
Faktorenstruktur: $\alpha = 0,65$ KMO= 0,66 N= 38 Items= 6						
A: $\alpha = 0,59$ M= 2,97 SD= 0,65 Eigenwert = 1,85 Items= 3						
B: $\alpha = 0,54$ M= 3,09 SD= 0,65 Eigenwert = 1,57 Items= 3						

Items:

Tiii2 - Aufbau einer experimentellen Apparatur bzw. eines Messinstruments ...

Tiii6 - Herstellen von Modellen, Ausstellungsmaterialien etc. ...

Tiii11 - Arbeiten mit Laborgeräten ...

Tiii13 - Probennehmen im Freiland (am Wasser) ...

Tiii22 - Präsentieren von Experimenten bei Ausstellungen ...

Tiii24 - Durchführen naturwissenschaftlicher Experimente ...

Tiii26 - Arbeiten mit Laptops/ Computern ...

¹⁶¹ Das Item wurde entfernt, da die Trennschärfe zu gering ist ($r < 0,2$).

VII.5 Erstellen eines Concept Maps – Leitfaden für Schüler

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Sie führen mit Ihrem Biologiekurs eine Projektarbeit im Rahmen von NaT-Working „Meeresforschung“ durch. Hierbei wird eine Studie durchgeführt, in der es um das Interesse von Schülern und Schülerinnen der Sek II an Naturwissenschaften geht. Außerdem wird die Wissensentwicklung untersucht.

Zur Erhebung des Interesses werden Sie um das Ausfüllen eines Fragebogens - vor Ihrem Kurs und danach - gebeten. Die Wissensentwicklung wird zu drei Messzeitpunkten erhoben (vor der Projektarbeit, in der Mitte und am Ende der Projektarbeit). Hierbei werden Sie jeweils selbst ein Begriffsnetz (Concept Map) konstruieren. Informationen zur Konstruktion eines Begriffsnetzes (Concept Maps) finden Sie auf der nächsten Seite.

Heute ist der erste Messzeitpunkt. Füllen Sie bitte den beiliegenden Fragebogen aus und erstellen ein Begriffsnetz (Concept Map) zum Thema „Ökosystem Ostsee“.

Die Erhebungen gehen nicht in die Benotung Ihrer Projektarbeit bzw. Ihres Biologiekurses¹⁶² ein und dienen ausschließlich wissenschaftlichen Zwecken.

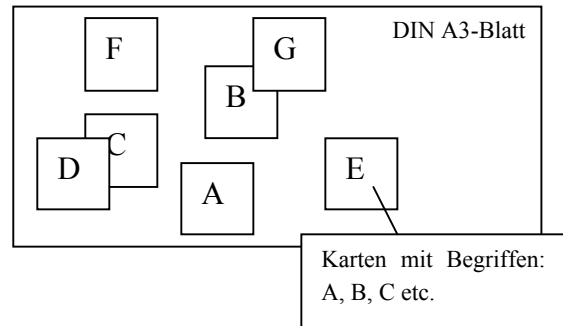
An dieser Stelle bedanke ich mich für Ihre Mitarbeit in dieser Studie. Für Rückfragen oder Anmerkungen können Sie sich gerne an mich wenden: *Angabe der E-Mail Adresse und Telefonnummer.*

¹⁶² In dem Projektkurs stand an der Stelle das Fach Projektkurs.

Wie konstruieren Sie ein Begriffsnetz?

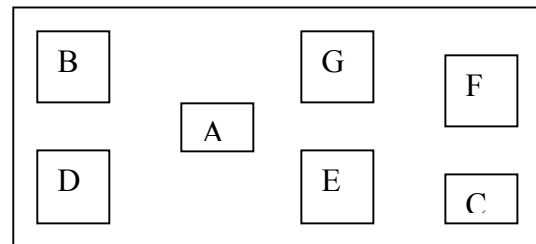
Vorbemerkung: Jeder entwickelt sein eigenes Begriffsnetz!

1. Sie erhalten ein **Thema**,
Karten mit und ohne Begriffe,
Klebeband,
sowie ein DIN A3 **Blatt**.

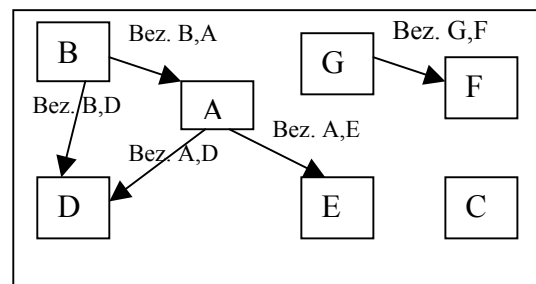


2. Die Karten sollen von Ihnen zu einer übersichtlichen Struktur angeordnet werden, die Ihrem Wissen über das Thema am besten entspricht.

- Schieben Sie die Karten so lange auf dem DIN A3 Blatt herum, bis die Begriffe in einer für Sie sinnvollen Anordnung zueinander stehen.

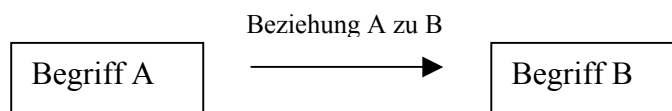


3. Kleben Sie dann die Karten fest. Begriffe, zwischen denen wichtige Beziehungen bestehen, werden durch entsprechend beschriftete Pfeile miteinander verbunden.

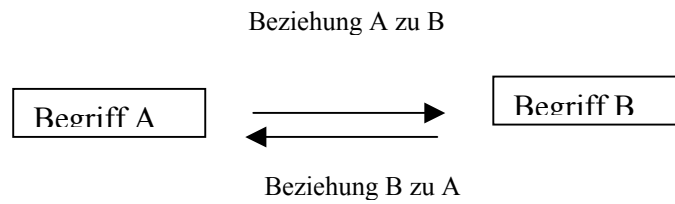


→ die Pfeile sind unbedingt zu beschriften!

Ein Pfeil, der zur Erstellung einer Beziehung gezogen wird, geht immer von einem Begriff aus und zeigt nur auf einen anderen Begriff, also:



Wenn eine wechselseitige Beziehung zwischen zwei Begriffen besteht VERMEIDEN SIE DOPPELPFEILE ! Versuchen Sie sich für eine Pfeilrichtung zu entscheiden und formulieren Sie die Beziehung zwischen den Begriffen entsprechend über dem Pfeil. Falls Sie nicht nur eine Richtung festlegen können, zeichnen Sie - unbedingt - zwei Pfeile ein und **beschriften die Pfeile jeweils einzeln**, also:



- Sie müssen nicht alle vorgegebenen Begriffe verwenden und nicht jeder Begriff muss mit jedem anderen Begriff verknüpft sein; legen Sie nicht verwendete Begriffe einfach weg.
- Sie können auch selbst Begriffe ergänzen, schreiben Sie jeden von Ihnen ergänzten Begriff auf ein eigenes Kärtchen und nehmen es in Ihr Begriffsnetz auf.

VII.6 Qualitative Auswertung – Einzel- und Gruppenanalysen

Im Folgenden ist die detaillierte qualitative Untersuchung der Wissensentwicklung in der Gruppe (Bio-LK, N= 10) dokumentiert, deren zentrale Tendenzen im Ergebnisteil herausgearbeitet sind (s. Kap. V.4.3). Zunächst werden die Transkripte und qualitativen Auswertungen jedes einzelnen Probanden vorgelegt und anschließend die Auswertungen der Gesamtstichprobe (Gruppenanalysen).

VII.6.1 Transkripte und Einzelanalysen

VII.6.1.1 Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler ANHE

Transkript s. S. 142ff.

Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (ANHE)

	I	II	III
Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser:			
CO ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre	x		x
O ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
Fotosynthese und Nährstoffe:			
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.		x	x
Licht wird vom Phytoplankton [für Fotosynthese] aufgenommen.		x	x
Phytoplankton nimmt CO ₂ auf.			x
Phytoplankton gibt O ₂ ab.			x
Phytoplankton nimmt Nährstoffe auf. (hier sind alle Nährstoffe gemeint, außer NO ₃ ⁻ und NH ₄ ⁺)			
NO ₃ ⁻ wird von Phytoplankton aufgenommen.			
NH ₄ ⁺ wird von Phytoplankton aufgenommen.			
Respiration des Phytoplanktons:			
Phytoplankton nimmt O ₂ auf.			x
Phytoplankton gibt CO ₂ ab.			x
Dissimilation (Respiration) heterotropher Lebewesen:			
Zooplankton nimmt O ₂ auf.	x	x (1)	x
Zooplankton gibt CO ₂ ab.	x	x	x
Fische nehmen O ₂ auf.	x	x (1)	x
Fische geben CO ₂ ab.	x	x	x

Fortsetzung der Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (ANHE)

Einfache Nahrungskette:			
Phytoplankton wird von Zooplankton gefressen.		x	x
Zooplankton wird von Fischen gefressen.		x	x
Phytoplankton wird von Fischen gefressen.			
Nach dem Absterben von Lebewesen sinken die toten Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen ab ins Sediment.	x	x	x
Mikrobielle Schleife:			
Bakterien können dem Zooplankton als Nahrung dienen.			
Nährstoffkreislauf:			
Destruenten (Bakterien) zersetzen organ. Stoffe ¹ .	x	x	x
¹ Organ. Stoffe sind tote Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen	x	x	x
¹ Organ. Stoffe sind organ. N-Verbindungen ²			
² Organ. N-Verbindungen sind Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen.			
Über die Zersetzung organ. Stoffe durch Destruenten (Bakterien) werden Nährstoffe freigesetzt.			
Nährstoffe sind:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH_4^+			
NO_3^-			
Folgende von den bakteriell abgebauten Nährstoffen werden vom Phytoplankton aufgenommen:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH_4^+			
NO_3^-			
Nitrifikation:			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH_4^+ -Ionen bzw. NO_3^- -Ionen freigesetzt.			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH_4^+ Ionen freigesetzt.			
Bakterien können aus NH_4^+ NO_3^- bilden.			
Bestimmte Bakterien (Nitritbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus NH_4^+ Nitrit (NO_2^-).			
Bestimmte Bakterien (Nitratbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus Nitrit Nitrat (NO_3^-).			

Anmerkungen:

(1) Hier ist O_2 der Atmosphäre gemeint, was fachlich falsch ist. Doch bezüglich der Respiration wird es an dieser Stelle mit gewertet.

Fachwissenschaftlich falsche Kanten und Korrektur (ANHE)

MZP I	MZP II	MZP III
1: Bakterien sind vorhanden im Zooplankton. Bakterien sind vorhanden im Phytoplankton. (Anmerkung: wird als falsch gewertet, weil davon ausgegangen wird, dass die Cyanobakterien nicht bekannt sind.)	Kommt nicht mehr vor.	
2: Am Sediment entstehen organ. N-Verbindungen. Organ. N-Verbindungen entstehen mithilfe von Bakterien.	Bleibt erhalten! Bleibt erhalten!	Bleibt erhalten! Die Rolle der Bakterien wird hier nicht mehr aufgegriffen.
3: Phytoplankton braucht O ₂ und gibt CO ₂ ab.	Bleibt erhalten!	Korrigiert: Phytoplankton braucht O ₂ und gibt es ab, außerdem nimmt es CO ₂ auf, gibt es aber auch ab.
	4: Phytoplankton, Zooplankton und Fische nehmen O ₂ aus der Atmosphäre auf.	Korrigiert: Die O ₂ -Aufnahme erfolgt aus dem Wasser.
	5: Phytoplankton ernährt sich von Bakterien.	Kommt nicht mehr vor.

VII.6.1.2 Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler BEUW

Schritt 1:

Auflistung aller Relationen der Concept Maps (CM) der Messzeitpunkte (I-III) (BEUW)

Die **Sonne** entsendet **Licht**. I, II

Licht wird aufgenommen von **Phytoplankton**. I, II

Phytoplankton braucht **Licht** zur Fotosynthese. III

Phytoplankton braucht **CO₂** zur Fotosynthese. III

CO₂ [ist] Bestandteil von **Luft**. I

O₂ [ist] Bestandteil von **Luft**. I

Fische benötigen **O₂** zum Atmen (zum Leben MZP III). I, III

Phytoplankton betreibt **Fotosynthese**. I

Phytoplankton betreibt mithilfe von Licht und **CO₂** **Fotosynthese**. II

Phytoplankton produziert **O₂** bei der Fotosynthese. III

Nach der **Fotosynthese** wird **O₂** vom Phytoplankton abgegeben. II

O₂ [ist] Produkt von **Fotosynthese**. I

CO₂ wird aufgenommen von **Phytoplankton**. II

CO₂ wird benötigt für **Fotosynthese**. I

Zooplankton frisst **Phytoplankton**. II, III

Fische fressen **Phytoplankton**. I, II

Fische fressen **Zooplankton**. I, II, III

Abgestorbene Tierreste (z. B. Fisch) lagern sich am Grund als **Sediment** an. I

Zooplankton stirbt [und ist ein] **toter Organismus**. I

Zooplankton sinkt nach Absterben als **Sediment** an den Meeresboden ab. II

Phytoplankton stirbt [und ist ein] **toter Organismus**. I

Phytoplankton sinkt nach Absterben als **Sediment** an den Meeresboden ab. II

Fische sterben [und sind] **tote Organismen**. I

Fische [sind] nach dem Sterben **abgestorbene Tierreste**. I

Fische sinken nach dem Absterben als **Sediment** an den Meeresboden. II

Bakterien zersetzen **Sediment**. I, III

Toter Organismus wird zersetzt von **Bakterien**. I

Bakterien zersetzen **Fische** nach dem Absterben. II

Organ. N-Verbindungen [sind] vorhanden im **Sediment**, z. B. Fischkadaver. II

Organ. N-Verbindungen werden beim Verwesungsvorgang gespalten in **NH₄⁺** und **NO₃⁻**. II

Organ. N-Verbindungen werden beim Verwesungsvorgang gespalten in **NH₄⁺** und **NO₃⁻**. II

Bakterien bewerkstelligen die Nitrierung [von **NH₄⁺** zu **NO₃⁻**]. III

Bakterien bewerkstelligen die Fixierung des Stickstoffs [aus organ. N-Verbindungen
In] **NH₄⁺**. III

Fachwissenschaftlich falsche Relationen:

Bakterien geben **organ. N-Verbindungen** nach dem Zersetzen an die Umgebung ab. F I

Organ. N-Verbindungen steigen auf an [die] **Luft**. F I

NH₄⁺ [ist ein] Beispiel für [eine] **organ. N-Verbindung**. F I

NO₃⁻ [ist ein] Beispiel für [eine] **organ. N-Verbindung**. F I

[Mittels] Nitrierung [wird aus] **NH₄⁺** **NO₃⁻**. F III

[Aus] **organ. N-Verbindungen** [erfolgt die] Fixierung des Stickstoffs [als] **NH₄⁺**. F III

Epipelagial [ist] Lebensraum von **Phytoplankton**. II, III

Mesopelagial ist Lebensraum von **Zooplankton**. F II, III

Mesopelagial [ist eine] tiefere Wasserschicht als **Epipelagial**. II

Schritt 2:

Referenznetz basierte Auswahl von Relationen (BEUW)

Folgende Relationen wurden nicht ausgewählt, weil sie inhaltlich nicht im Referenznetz vorkommen:

- **Epipelagial** [ist] Lebensraum von **Phytoplankton**. II, III
- **Mesopelagial** ist Lebensraum von **Zooplankton**. F II, III
- **Mesopelagial** [ist eine] tiefere Wasserschicht als **Epipelagial**. II

Schritt 2.1: Zusammenfassung von Relationen (BEUW)

- **Phytoplankton** betreibt **Fotosynthese**. I
- **Phytoplankton** betreibt mithilfe von Licht und CO₂ **Fotosynthese**. II

Zusammenfassung: **Phytoplankton** betreibt **Fotosynthese**.

- Nach der **Fotosynthese** wird O₂ vom Phytoplankton abgegeben. II
- O₂ [ist] Produkt von **Fotosynthese**. I

Zusammenfassung: Nach der **Fotosynthese** wird O₂ abgegeben. I, II

- **Fische** sterben [und sind] **tote Organismen**. I
- **Fische** [sind] nach dem Sterben **abgestorbene Tierreste**. I

→ **Fische** sterben [und sind] **tote Organismen**.

Schritt 2.2: Auflistung der Begriffe und Relationen

Tabelle 30: Auflistung der Begriffe der transkribierten Concept Maps des Probanden BEUW

Die Dokumentation der Begriffe (Knoten, KNO) erfolgt unter Angabe des Vorkommens in den Messzeitpunkten (I.-III.). Die Anzahl der Häkchen repräsentiert die Häufigkeit des jeweiligen Begriffs in dem Concept Map.

	I.	II.	III.
Sonne	√	√	
Licht	√	√	√
Phytoplankton	√	√	√
CO ₂	√ √	√	√
Luft	√		
Fische	√	√	√
O ₂	√ √	√	√
Fotosynthese	√	√	
Zooplankton	√	√	√
abgestorbene Tierreste	√		
toter Organismus	√		
Sediment	√	√	√
Bakterien	√	√	√
organ. N-Verbindungen	√	√	√
NH ₄ ⁺	√	√	√
NO ₃ ⁻	√	√	√

Tabelle 31: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel (s. Bewertungsschema für IS) des Probanden BEUW

Relation (Kanten, KAN)	I.	II.	III.	Punkte	Regel
Die Sonne entsendet Licht.	✓	✓		0	0.2 & 0.3
Licht wird aufgenommen von Phytoplankton.	✓	✓		3	3.1
Phytoplankton braucht Licht zur Fotosynthese.			✓	3	3.1
Phytoplankton braucht CO ₂ zur Fotosynthese.			✓	3	3.1
CO ₂ [ist] Bestandteil von Luft.	✓			1	1.2
O ₂ [ist] Bestandteil von Luft.	✓			1	1.2
Fische benötigen O ₂ zum Atmen (zum Leben MZP III).	✓		✓	3	3.1
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.	✓			3	3.1
Phytoplankton betreibt mithilfe von Licht und CO ₂ Fotosynthese.		✓		3	3.1
Nach der Fotosynthese wird O ₂ vom Phytoplankton abgegeben.		✓		3	3.2
O ₂ [ist] Produkt von Fotosynthese.	✓			3	3.1
Phytoplankton produziert bei der Fotosynthese O ₂ .			✓	3	3.1
CO ₂ wird aufgenommen von Phytoplankton.		✓		3	3.2
CO ₂ wird benötigt für Fotosynthese.	✓			3	3.1
Zooplankton frisst Phytoplankton.		✓	✓	3	3.1
Fische fressen Phytoplankton.	✓	✓		3	3.1
Fische fressen Zooplankton.	✓	✓	✓	3	3.1
abgestorbene Tierreste (z. B. Fisch) lagern sich am Grund als Sediment an.	✓			3	3.1 & N3
Zooplankton stirbt [und ist ein] toter Organismus.	✓			0	0.3
Zooplankton sinkt nach Absterben als Sediment an den Meeresboden ab.		✓		2	2.1
Phytoplankton stirbt [und ist ein] toter Organismus.	✓			0	0.3
Phytoplankton sinkt nach Absterben als Sediment an den Meeresboden ab.		✓		2	2.1
Fische sterben [und sind] tote Organismen. I	✓			0	0.3
Fische [sind] nach dem Sterben abgestorbene Tierreste.	✓			0	0.3
Fische sinken nach dem Absterben als Sediment an den Meeresboden.		✓	✓	2	2.1
Bakterien zersetzen Sediment.	✓		✓	3	3.1
Toter Organismus wird zersetzt von Bakterien.	✓			3	3.1 & N3
Bakterien zersetzen Fische nach dem Absterben.		✓	✓	2	2.1
Bakterien zersetzen Phytoplankton nach dem Absterben.			✓	2	2.1
Organ. N-Verbindungen [sind] vorhanden im Sediment, z. B. Fischkadaver.		✓		3	3.1
Phytoplankton lagern sich nach dem Absterben als Sediment am Meeresboden ab.			✓	3	3.2
Zooplankton lagern sich nach dem Absterben als Sediment am Meeresboden ab.			✓	3	3.2
Organ. N-Verbindungen werden beim Verwesungsvorgang gespalten in NH ₄ ⁺ und NO ₃ ⁻ .		✓		1	1.1
Organ. N-Verbindungen werden beim Verwesungsvorgang gespalten in NH ₄ ⁺ und NO ₃ ⁻ .		✓		0	0.1

VII. Anhang - Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler BEUW

Fortsetzung der Tabelle 31

Relation	I	II	III	Punkte	Regel
Bakterien bewerkstelligen die Nitrierung [von NH_4^+ zu NO_3^-].			√	1	1.1
Bakterien bewerkstelligen die Fixierung des Stickstoffs [aus organ. N-Verbindungen in NH_4^+].			√	2	2.2
Bakterien geben organ. N-Verbindungen nach dem Zersetzen an die Umgebung ab.	√			0	0.1
Organ. N-Verbindungen steigen auf an [die] Luft.	√			0	0.1
NH_4^+ [ist ein] Beispiel für [eine] organ. N-Verbindung.	√			0	0.1
NO_3^- [ist ein] Beispiel für [eine] organ. N-Verbindung.	√			0	0.1
[Mittels] Nitrierung [wird aus] NH_4^+ NO_3^- .			√	1	1.1
[Aus] organ. N-Verbindungen [erfolgt die] Fixierung des Stickstoffs [als] NH_4^+ .			√	1	1.1
Individueller Summenscore	32	33	36		
0 Punkte	9	2	0		
1 Punkt	2	1	1		
2 Punkte	0	4	4		
3 Punkte	10	8	9		

Schritt 2.3:

Beschriftungen sammeln, zusammenfassen und codieren

Tabelle 32: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps

Synonyme (Zahlencodes) repräsentieren in den transkribierten CM die Beschriftungen der Verknüpfungen (Pfeile); F, fachwissenschaftlich falsche Kante.

Synonym	Beschriftung der Verknüpfung
1	entsendet
2	wird aufgenommen von
3	[ist] Bestandteil von
4	benötigen ... zum Leben
5	betreibt
6	nach der ... wird ... abgegeben.
7	wird benötigt für
8	frisst/ fressen
9	stirbt [und ist ein]
10	lagern sich am Grund als ... an.
11	lagert/ lagern sich nach Absterben als ... an dem Meeresboden ab
12	sterben [und sind]
13	zersetzen
14	wird zersetzt von
15	zersetzen ... nach dem Absterben
16	[sind] vorhanden im
17	werden beim Verwesungsvorgang gespalten in ... und NO_3^- . (F)
18	werden beim Verwesungsvorgang gespalten in NH_4^+ und (F)
19	bewerkstelligen die Nitrierung [von NH_4^+ zu]
20	bewerkstelligen die Fixierung des Stickstoffs [aus organ. N-Verbindungen in]
21	geben ... nach dem Zersetzen an die Umgebung ab (F)
22	steigen auf an [die] (F)
23	[ist ein] Beispiel für [eine] (F)
24	[Mittels] Nitrierung [wird aus] (F)
25	[Aus] ... [erfolgt die] Fixierung des Stickstoffs [als] (F)
26	braucht ... zur Fotosynthese
27	produziert ... bei der Fotosynthese

Schritt 3:

Erstellen der transkribierten Concept Maps (BEUW)

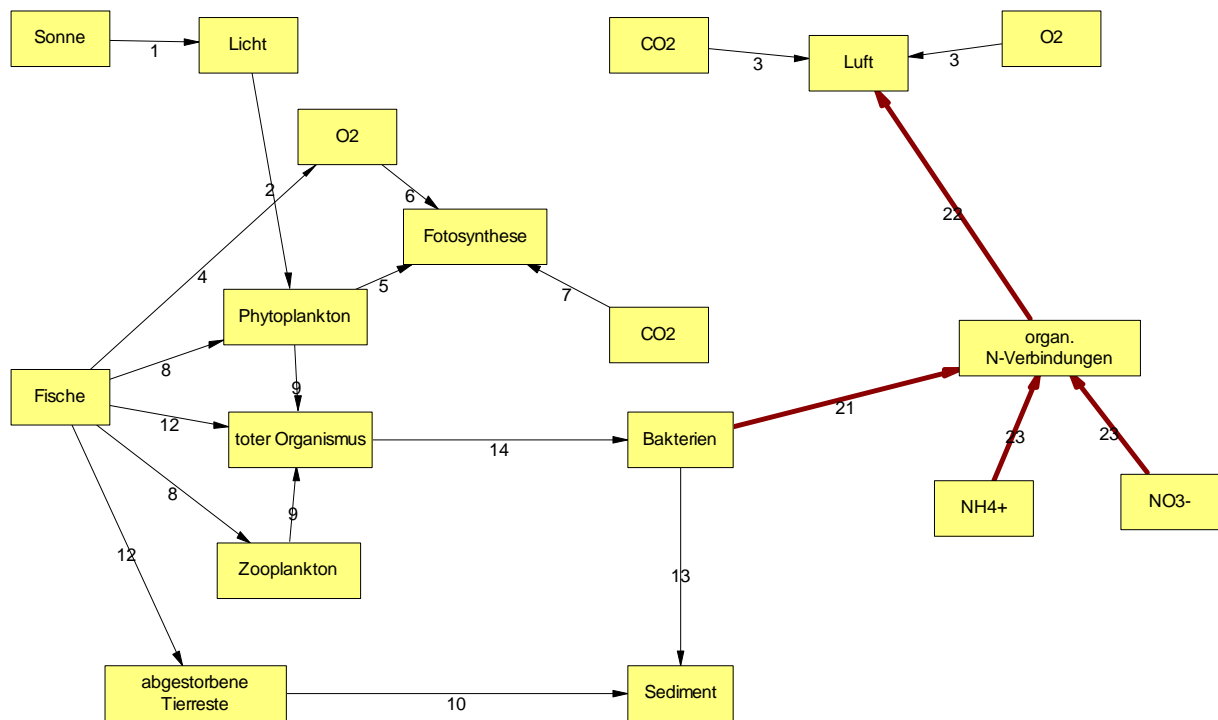


Abb. 37: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler BEUW (MZP I)

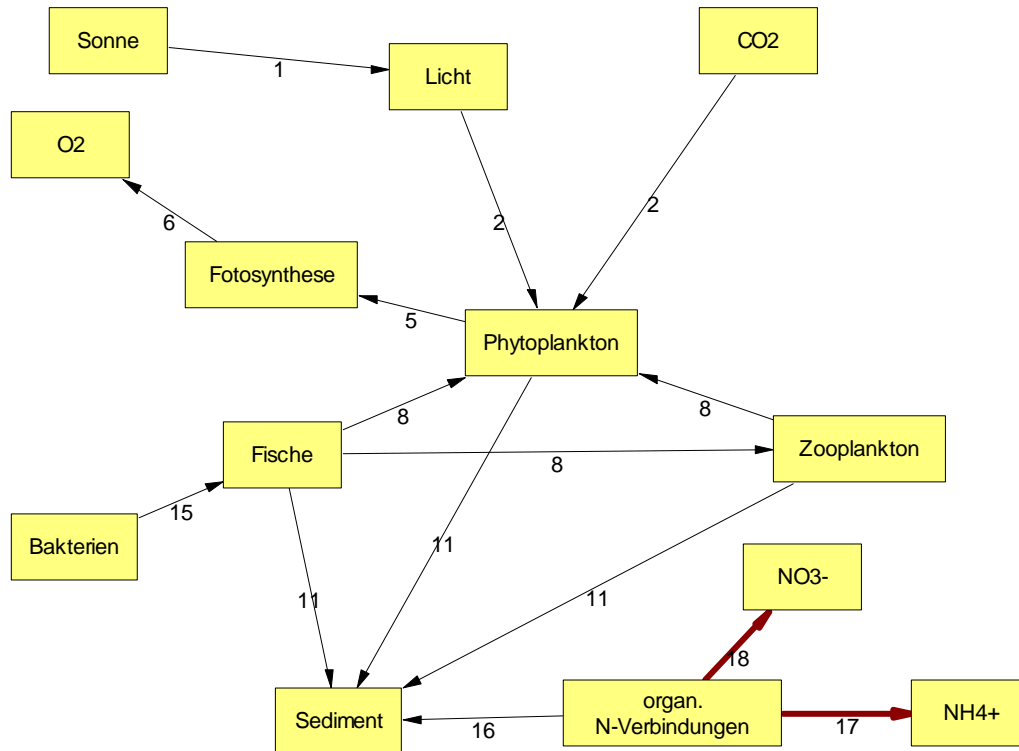


Abb. 38: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler BEUW (MZIP II)

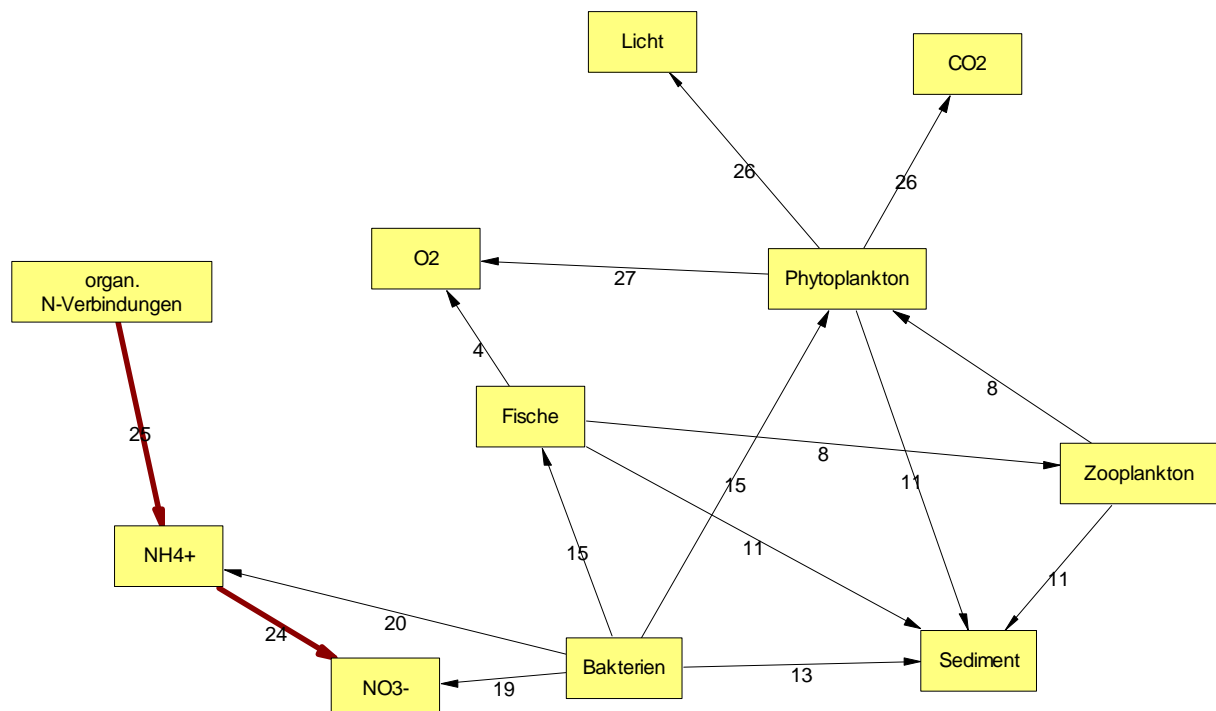


Abb. 39: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler BEUW (MZIP III)

Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (BEUW)

	I	II	III
Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser:			
CO ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
O ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
Fotosynthese und Nährstoffe:			
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.	x	x	x
Licht wird vom Phytoplankton [für Fotosynthese] aufgenommen.	x	x	x
Phytoplankton nimmt CO ₂ auf.	x	x	x
Phytoplankton gibt O ₂ ab.	x	x	x
Phytoplankton nimmt Nährstoffe auf. (hier sind alle Nährstoffe gemeint, außer NO ₃ ⁻ und NH ₄ ⁺)			
NO ₃ ⁻ wird von Phytoplankton aufgenommen.			
NH ₄ ⁺ wird von Phytoplankton aufgenommen.			
Respiration des Phytoplanktons:			
Phytoplankton nimmt O ₂ auf.			
Phytoplankton gibt CO ₂ ab.			
Dissimilation (Respiration) heterotropher Lebewesen:			
Zooplankton nimmt O ₂ auf.			
Zooplankton gibt CO ₂ ab.			
Fische nehmen O ₂ auf.	x		x
Fische geben CO ₂ ab.			
Einfache Nahrungskette:			
Phytoplankton wird von Zooplankton gefressen.		x	x
Zooplankton wird von Fischen gefressen.	x	x	x
Phytoplankton wird von Fischen gefressen.	x	x	x
Nach dem Absterben von Lebewesen sinken die toten Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen ab ins Sediment.	x	x	x
Mikrobielle Schleife:			
Bakterien können dem Zooplankton als Nahrung dienen.			

Fortsetzung der Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (BEUW)

Nährstoffkreislauf:			
Destruenten (Bakterien) zersetzen organ. Stoffe ¹ .	x	x	x
¹ Organ. Stoffe sind tote Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen	x	x	x
¹ Organ. Stoffe sind organ. N-Verbindungen ²			
² Organ. N-Verbindungen sind Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen.			
Über die Zersetzung organ. Stoffe durch Destruenten (Bakterien) werden Nährstoffe freigesetzt.			
Nährstoffe sind:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH_4^+			
NO_3^-			
Folgende von den bakteriell abgebauten Nährstoffen werden vom Phytoplankton aufgenommen:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH_4^+			
NO_3^-			
Nitrifikation:			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH_4^+ -Ionen bzw. NO_3^- -Ionen freigesetzt.			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH_4^+ Ionen freigesetzt.			
Bakterien können aus NH_4^+ NO_3^- bilden.			
Bestimmte Bakterien (Nitritbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus NH_4^+ Nitrit (NO_2^-).			
Bestimmte Bakterien (Nitratbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus Nitrit Nitrat (NO_3^-).			

Fachwissenschaftlich falsche Kanten und Korrektur (BEUW)

MZP I	MZP II	MZP III
1: Bakterien geben nach dem Zersetzen toter Organismen bzw. Sediment organ. N-Verbindungen ab.		
2: Beispiele für organ. N-Verbindungen sind NH_4^+ und NO_3^- .	Verändert in: Organ. N-Verbindungen werden beim Verwesungsvorgang gespalten in NH_4^+ und NO_3^- .	Verändert in: Aus organ. N-Verbindungen erfolgt die Fixierung des Stickstoffs als NH_4^+ und mittels Nitrifizierung wird aus NH_4^+ NO_3^- .
3: Organ. N-Verbindungen steigen auf an die Luft.		

VII.6.1.3 Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler BIMA

Schritt 1:

Auflistung aller Relationen der Concept Maps (CM) der Messzeitpunkte (I-III) (BIMA)

Stürme vermischen [das] **Epipelagial** (obere Wasserschicht (viel Licht, Phyto- und Zooplankton)). I
Stürme vermischen [das] **Mesopelagial** (mittlere Wasserschicht (Fische)). I
Licht wird gebraucht vom **Zooplankton**. II
CO₂ (2x) kommt aus der Atmosphäre [ins Wasser]. I
O₂ (2x) wird in die Atmosphäre abgegeben. I
O₂ (2x) geht [aus dem Wasserkörper] in die Atmosphäre. II
O₂ (2x) geht in die Atmosphäre. III
Licht [ist] energiereiche Strahlung und wird [vom] **Phytoplankton** [für] Fotosynthese verwertet. I
Licht wird [von] **Phytoplankton** [für] Fotosynthese gebraucht. II
Licht [ist für die] Fotosynthese [von] **Phytoplankton**. III
O₂ wird [von] **Phytoplankton** verbraucht. III
Phytoplankton produziert **O₂**. III
CO₂ wird [vom] **Phytoplankton** verwertet. I, III
CO₂ wird [von] **Phytoplankton** verbraucht. II
Phytoplankton produziert **O₂**. I, II
NO₃⁻ wird [von] **Phytoplankton** benötigt. II
NO₃⁻ wird [von] **Phytoplankton** verbraucht. III
NH₄⁺ wird [von] **Phytoplankton** benötigt. II
Zooplankton frisst **Phytoplankton**. I, II, III
Zooplankton frisst **Bakterien**. II
Fische fressen **Zooplankton**. I, II, III
Fische fressen **Phytoplankton**. I
Fische stoßen **CO₂** aus. I, II, III
Fische atmen/ verbrauchen **O₂**. I, III **Fische** brauchen **O₂**. II
Bakterien verbrauchen **O₂**. I
O₂ wird [von] **Zooplankton** verbraucht. III
Bakterien ernähren sich von **organ. N-Verbindungen**. II
Bakterien produzieren **NH₄⁺**. II
Bakterien produzieren **NO₃⁻**. II
NH₄⁺ wird verwertet [vom] **Phytoplankton**. I
NO₃⁻ wird verwertet [vom] **Phytoplankton**. I
Bakterien produzieren **NH₄⁺**. I
Bakterien produzieren **NO₃⁻**. I
Unterschiedliche **Bakterien** stellen **NO₃⁻** her. III
Unterschiedliche **Bakterien** stellen **NH₄⁺** her. III
Fische stoßen **Kot** aus. I
Kot sind **organ. N-Verbindungen**. I
Fische scheiden **organ. N-Verbindungen** aus. II
Ausscheidungen [und] Kadaver [von] **Zooplankton** [führen zu] **organ. N-Verbindungen**. III
Ausscheidungen [und] Kadaver [von] **Fischen** [führen zu] **organ. N-Verbindungen**. III
Bakterien ernähren sich von **organ. N-Verbindungen**. I
Unterschiedliche **Bakterien** zersetzen **organ. N-Verbindungen**. III
Organ. N-Verbindungen sinken auf den Grund [und] bilden [das] **Sediment**. I
Organ. N-Verbindungen speichern **CO₂**. I
Sediment speichert **CO₂**. I

Fachwissenschaftlich falsche Relationen:

CO₂ wird [vom] **Zooplankton** verwertet. F I
CO₂ wird [von] **Zooplankton** verbraucht. F II
Zooplankton produziert **O₂**. F II
NO₃⁻ wird [von] **Zooplankton** benötigt. F II

Sediment besteht aus **organ. N-Verbindungen**. F II

Bakterien stellen [aus] NO_3^- NH_4^+ her. F III

NH_4^+ (2x) geht in die Atmosphäre. F III

Schritt 2:

Referenznetz basierte Auswahl von Relationen (BIMA)

Folgende Relationen wurden nicht ausgewählt, weil sie inhaltlich nicht im Referenznetz vorkommen:

Es werden alle Relationen ausgewählt!

Schritt 2.1: Zusammenfassung von Relationen (BIMA)

O_2 (2x) wird in die Atmosphäre abgegeben. I

O_2 (2x) geht [aus dem Wasserkörper] in die Atmosphäre. II

O_2 (2x) geht in die Atmosphäre. III

Zusammenfassung: O_2 (2x) wird [aus dem Wasserkörper] in die Atmosphäre abgegeben.

Licht [ist] energiereiche Strahlung und wird [vom] **Phytoplankton** [für] Fotosynthese verwertet. I

Licht wird [von] **Phytoplankton** [für] Fotosynthese gebraucht. II

Licht [ist für die] Fotosynthese [von] **Phytoplankton**. III

Zusammenfassung: **Licht** wird [von] **Phytoplankton** [für] Fotosynthese gebraucht.

CO_2 wird [vom] **Phytoplankton** verwertet. I, III

CO_2 wird [von] **Phytoplankton** verbraucht. II

Zusammenfassung: CO_2 wird [vom] **Phytoplankton** verwertet.

NH_4^+ wird verwertet [vom] **Phytoplankton**. I

NH_4^+ wird [von] **Phytoplankton** benötigt. II

Zusammenfassung: NH_4^+ wird [von] **Phytoplankton** benötigt.

NO_3^- wird verwertet [vom] **Phytoplankton**. I

NO_3^- wird [von] **Phytoplankton** benötigt. II

NO_3^- wird [von] **Phytoplankton** verbraucht. III

Zusammenfassung: NO_3^- wird [von] **Phytoplankton** benötigt.

Fische atmen/ verbrauchen O_2 . I, III

Fische brauchen O_2 . II

Zusammenfassung: **Fische** verbrauchen O_2 .

Bakterien produzieren NO_3^- . I

Bakterien produzieren NO_3^- . II

Unterschiedliche **Bakterien** stellen NO_3^- her. III

Zusammenfassung: **Bakterien** produzieren NO_3^- .

Bakterien produzieren NH_4^+ . I

Bakterien produzieren NH_4^+ . II

Unterschiedliche **Bakterien** stellen NH_4^+ her. III

Zusammenfassung: **Bakterien** produzieren NH_4^+ .

Fische scheiden organ. N-Verbindungen aus. II

Ausscheidungen [und] Kadaver [von] **Fischen** [führen zu] **organ. N-Verbindungen**. III

Zusammenfassung: **Fische** scheiden **organ. N-Verbindungen** aus.

CO₂ wird [vom] **Zooplankton** verwertet. F I

CO₂ wird [von] **Zooplankton** verbraucht. F II

Zusammenfassung: **CO₂** wird [vom] **Zooplankton** verwertet.

Schritt 2.2: Auflistung der Begriffe und Relationen

Tabelle 33: Auflistung der Begriffe der transkribierten Concept Maps des Probanden BIMA

Die Dokumentation der Begriffe (Knoten, KNO) erfolgt unter Angabe des Vorkommens in den Messzeitpunkten (I.-III.). Die Anzahl der Häkchen repräsentiert die Häufigkeit des jeweiligen Begriffs in dem Concept Map.

Begriff	I.	II.	III.
Licht	√	√	√
Fische	√	√	√
Bakterien	√	√	√
Phytoplankton	√	√	√
Zooplankton	√	√	√
Organ. N-Verbindungen	√	√	√
O ₂	√√	√√	√√
CO ₂	√√	√	√
NH ₄ ⁺	√	√	√√
NO ₃ ⁻	√	√	√
Sediment	√	√	√
Kot	√		

Tabelle 34: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel (s. Bewertungsschema für IS) des Probanden BIMA

Relation	I	II	III	Punkte	Regel
Licht wird gebraucht vom Zooplankton.		√		1	1.2
CO ₂ (2x) kommt aus der Atmosphäre [ins Wasser].	√			2	2.2
O ₂ (2x) wird [aus dem Wasserkörper] in die Atmosphäre abgegeben.	√	√	√	2	2.2
Licht wird [von] Phytoplankton [für] Fotosynthese gebraucht.	√	√	√	3	3.1
O ₂ wird [von] Phytoplankton verbraucht.			√	3	3.1 & N5
Phytoplankton produziert O ₂ .	√	√	√	3	3.1
CO ₂ wird [vom] Phytoplankton verwertet.	√	√	√	3	3.1
NH ₄ ⁺ wird [von] Phytoplankton benötigt.	√	√		2	2.1 & N2
NO ₃ ⁻ wird [von] Phytoplankton benötigt.	√	√	√	3	3.1
Zooplankton frisst Phytoplankton.	√	√	√	3	3.1
Zooplankton frisst Bakterien.		√		3	3.1
Fische fressen Zooplankton.	√	√	√	3	3.1
Fische fressen Phytoplankton.	√			3	3.1
Fische stoßen CO ₂ aus.	√	√	√	3	3.1
Fische verbrauchen O ₂ .	√	√	√	3	3.1
Bakterien verbrauchen O ₂ .	√			1	1.1 & 1.2
O ₂ wird [von] Zooplankton verbraucht.			√	3	3.1
Bakterien ernähren sich von organ. N-Verbindungen.	√	√		3	3.1
Bakterien produzieren NO ₃ ⁻ .	√	√	√	2	2.1
Bakterien produzieren NH ₄ ⁺ .	√	√	√	2	2.1
Fische stoßen Kot aus.	√			3	3.1
Kot sind organ. N-Verbindungen.	√			2	2.3
Fische scheiden organ. N-Verbindungen aus.		√	√	3	3.1
Ausscheidungen [und] Kadaver [von] Zooplankton [führen zu] organ. N-Verbindungen.			√	3	3.1
Unterschiedliche Bakterien zersetzen organ. N-Verbindungen.			√	3	3.1
Organ. N-Verbindungen sinken auf den Grund [und] bilden [das] Sediment.	√			3	3.1 & N4
Organ. N-Verbindungen speichern CO ₂ .	√			1	1.2
Sediment speichert CO ₂ .	√			3	3.3
CO ₂ wird [vom] Zooplankton verwertet.	√	√		0	0.1
Zooplankton produziert O ₂ .		√		0	0.1
NO ₃ ⁻ wird [von] Zooplankton benötigt.		√		0	0.1
Sediment besteht aus organ. N-Verbindungen.		√		1	1.2
Bakterien stellen [aus] NO ₃ ⁻ NH ₄ ⁺ her.			√	0	0.1
NH ₄ ⁺ (2x) geht in die Atmosphäre.			√	0	0.1
Individueller Summenscore	53	43	45		
0 Punkte	1	3	2		
1 Punkt	2	2	0		
2 Punkte	6	4	3		
3 Punkte	13	11	13		

Schritt 2.3:

Beschriftungen sammeln, zusammenfassen und codieren

Folgende Beschriftungen werden zusammengefasst:

scheiden ... aus

stoßen ... aus

Zusammenfassung: stoßen ... aus

wird gebraucht vom

wird [von] ... verbraucht

wird [vom] ... verwertet.

Zusammenfassung: wird [von] ... verbraucht

Tabelle 35: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps

Synonyme (Zahlencodes) repräsentieren in den transkribierten CM die Beschriftungen der Verknüpfungen (Pfeile); F, fachwissenschaftlich falsche Kante.

Synonym	Beschriftung der Verknüpfung
1	kommt aus der Atmosphäre [ins Wasser]
2	wird [aus dem Wasserkörper] in die Atmosphäre abgegeben
3	wird [von] ... [für] Fotosynthese gebraucht
4	wird [von] ... verbraucht
5	produziert/ produzieren
6	wird [von] ... benötigt
7	frisst/ fressen
8	stoßen ... aus
9	verbrauchen
10	ernähren sich von
11	ist/ sind
12	Ausscheidungen [und] Kadaver [von] ... [führen zu]
13	unterschiedliche ... zersetzen
14	sinken auf den Grund [und] bilden [das]
15	speichert/ speichern
16	wird [vom] ... verwertet (F)
17	produziert (F)
18	wird [von] ... benötigt (F)
19	besteht aus (F)
20	Bakterien stellen [aus] NO_3^- ... her. (F)
21	geht in die Atmosphäre. (F)
22	Unterschiedliche ... stellen her

Schritt 3:

Erstellen der transkribierten Concept Maps (BIMA)

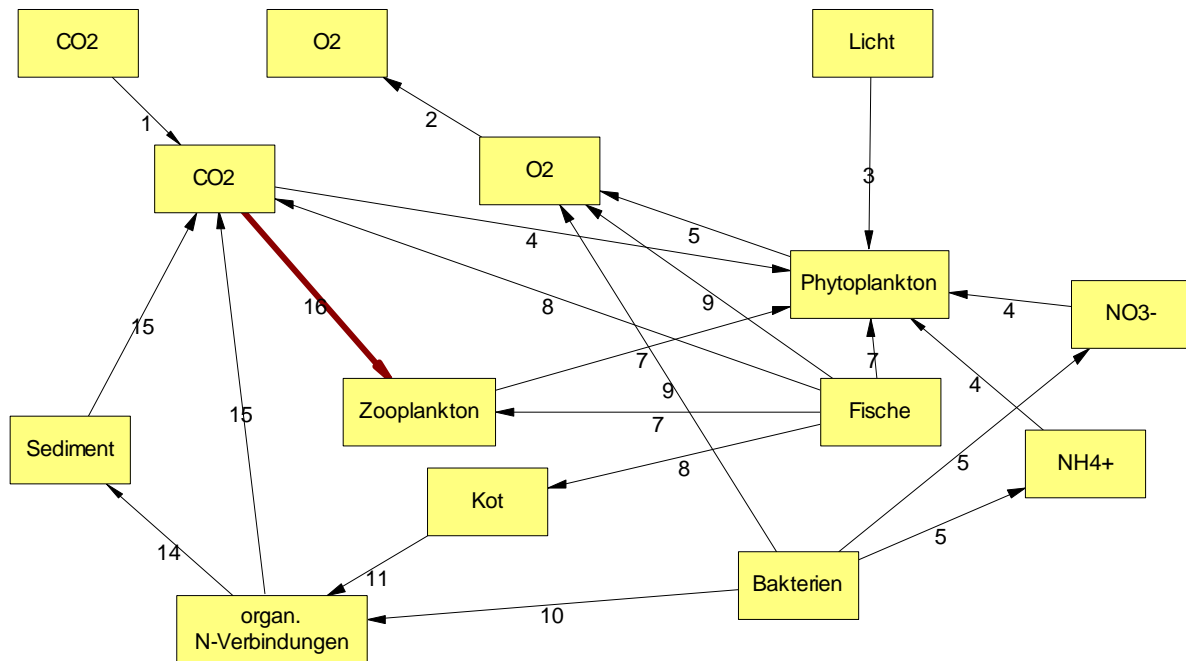


Abb. 40: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler BIMA (MZIP I)

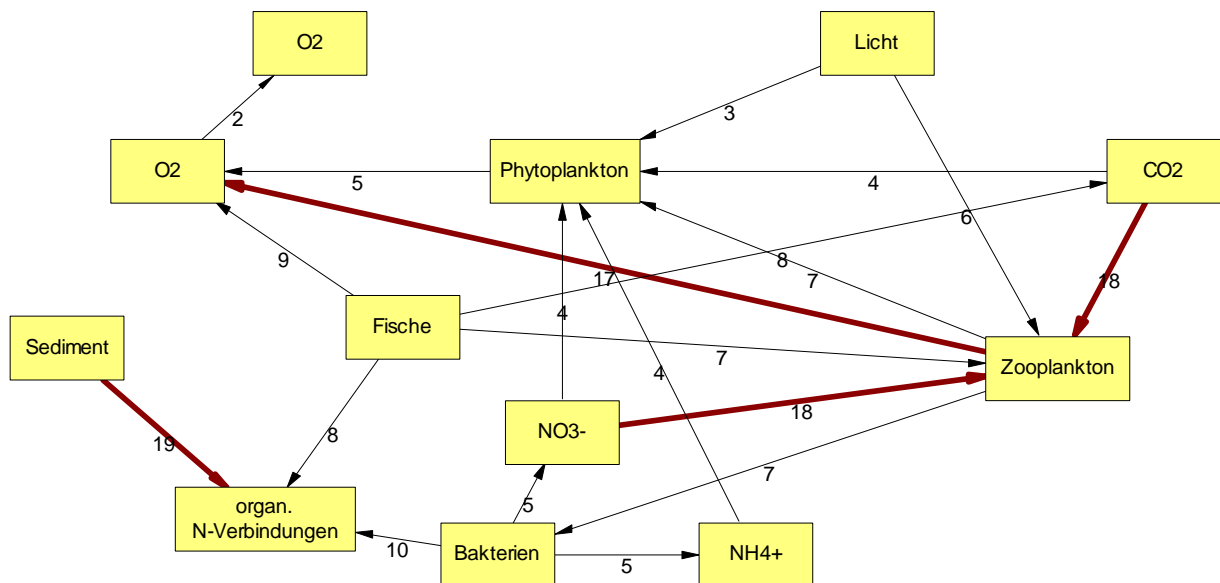


Abb. 41: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler BIMA (MZIP II)

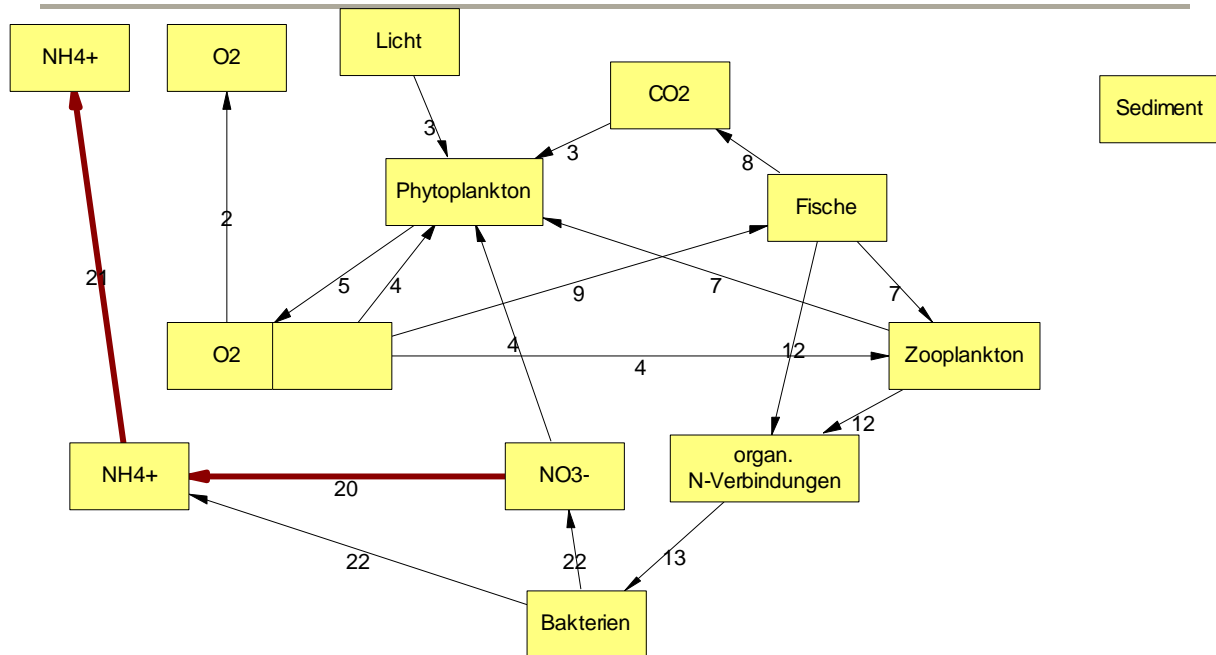


Abb. 42: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler BIMA (MZP III)

Anmerkung: In der Abb. 42 findet sich ein Doppelkästchen (s. O₂), das als ein Kästchen zu interpretieren ist. Dies ergab sich Software bedingt, da die Software keine Hin- und Rückpfeile zwischen zwei Begriffen zuließ.

Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (BIMA)

	I	II	III
Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser:			
CO ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser	x		
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
O ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre	x	x	x
Fotosynthese und Nährstoffe:			
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.	x	x	x
Licht wird vom Phytoplankton [für Fotosynthese] aufgenommen.	x	x	x
Phytoplankton nimmt CO ₂ auf.	x	x	x
Phytoplankton gibt O ₂ ab.	x	x	x
Phytoplankton nimmt Nährstoffe auf (hier sind alle Nährstoffe gemeint, außer NO ₃ ⁻ und NH ₄ ⁺).			
NO ₃ ⁻ wird von Phytoplankton aufgenommen.	x	x	x
NH ₄ ⁺ wird von Phytoplankton aufgenommen.	x	x	
Respiration des Phytoplanktons:			
Phytoplankton nimmt O ₂ auf.			x
Phytoplankton gibt CO ₂ ab.			

Fortsetzung der Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (BIMA)

Dissimilation (Respiration) heterotropher Lebewesen:			
Zooplankton nimmt O ₂ auf.			x
Zooplankton gibt CO ₂ ab.			
Fische nehmen O ₂ auf.	x	x	x
Fische geben CO ₂ ab.	x	x	x
Einfache Nahrungskette:			
Phytoplankton wird von Zooplankton gefressen.	x	x	x
Zooplankton wird von Fischen gefressen.	x	x	x
Phytoplankton wird von Fischen gefressen.	x		
Nach dem Absterben von Lebewesen sinken die toten Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen ab ins Sediment.	x		
Mikrobielle Schleife:			
Bakterien können dem Zooplankton als Nahrung dienen.		x	
Nährstoffkreislauf:			
Destruenten (Bakterien) zersetzen organ. Stoffe ¹ .	x (1)	x (1)	x
¹ Organ. Stoffe sind tote Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen			
¹ Organ. Stoffe sind organ. N-Verbindungen ²	x	x	x
² Organ. N-Verbindungen sind Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen.	x	x	x
Über die Zersetzung organ. Stoffe durch Destruenten (Bakterien) werden Nährstoffe freigesetzt.	x	x	x
Nährstoffe sind:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH ₄ ⁺	x	x	x
NO ₃ ⁻	x	x	x
Folgende von den bakteriell abgebauten Nährstoffen werden vom Phytoplankton aufgenommen:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH ₄ ⁺	x	x	
NO ₃ ⁻	x	x	x
Nitrifikation:			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH ₄ ⁺ -Ionen bzw. NO ₃ ⁻ -Ionen freigesetzt.	x	x	x
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH ₄ ⁺ Ionen freigesetzt.			
Bakterien können aus NH ₄ ⁺ NO ₃ ⁻ bilden.			
Bestimmte Bakterien (Nitritbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus NH ₄ ⁺ Nitrit (NO ₂ ⁻).			
Bestimmte Bakterien (Nitratbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus Nitrit Nitrat (NO ₃ ⁻).			

Anmerkungen

- (1) Statt „zersetzen“ steht in dem Concept Map „ernähren sich von“.

Fachwissenschaftlich falsche Kanten und Korrektur (BIMA)

MZP I	MZP II	MZP III
1: CO ₂ wird von Zooplankton für Fotosynthese gebraucht.	Erweitert in: Zooplankton benötigt CO ₂ , Licht, NO ₃ ⁻ und produziert O ₂ .	Korrigiert in: Zooplankton verbraucht O ₂ .
	2: Sediment besteht aus organ. N- Verbindungen.	Sediment bleibt ein unverbundener Begriff!
		3: Bakterien stellen aus NO ₃ ⁻ NH ₄ ⁺ her.
		4: NH ₄ ⁺ geht in die Atmosphäre.

VII.6.1.4 Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler CAHA

Schritt 1:

Auflistung aller Relationen der Concept Maps (CM) der Messzeitpunkte (I-III) (CAHA)

Licht (2x) dringt vor ins Meer. I
Licht (2x) dringt [aus der Atmosphäre] ins Wasser vor. II
O₂ (2x) löst sich [aus der Atmosphäre] im Wasser. I, II, III
CO₂ (2x) löst sich im Wasser. I,
CO₂ (2x) löst sich [aus der Atmosphäre] im Wasser. II, III
CO₂ wird durch Dissimilation von **Phytoplankton** produziert. III
CO₂ wird durch Assimilation [von] **Phytoplankton** verbraucht. III
Licht wird [für] **Fotosynthese** benötigt. I
Phytoplankton benötigt **Licht** für Fotosynthese. II, III
Phytoplankton verbraucht **CO₂**. I
Phytoplankton betreibt **Fotosynthese**. I
Fotosynthese produziert **O₂**. I
Phytoplankton produziert **O₂**. II
O₂ wird nachts [von] **Phytoplankton** durch Atmung verbraucht. III
O₂ wird [von] **Phytoplankton** durch Fotosynthese produziert. III
NH₄⁺ wird verwertet [von] **Phytoplankton**. II, III
NO₃⁻ wird verwertet [von] **Phytoplankton**. II, III
Mineralien (z. B. Silikat, Phosphat ...) wird verbraucht [von] **Phytoplankton**. II
O₂ wird verbraucht [von] **Bakterien**. I
Fische verbrauchen **O₂**. I, II, III
Mensch verbraucht **O₂**. II
Zooplankton benötigt/ braucht **O₂**. II, III
Licht [ist] lebenswichtig [für] **Fische**. I
Licht [ist] lebenswichtig [für] **Zooplankton**. I
Licht dringt vor bis [ins] **Epipelagial**. III
Licht dringt nicht vor bis [ins] **Mesopelagial**. III
Phytoplankton lebt oberhalb von der **Pyknokline**. III
Zooplankton lebt oberhalb von der **Pyknokline**. III
Fische sterben [und sind dann] **toter Fisch**. I, III
Fische sterben und sind dann **tote Lebewesen**. II
Phytoplankton stirbt [und ist] **totes Phytoplankton**. I, III
Phytoplankton stirbt und ist dann **tote Lebewesen**. II
Zooplankton stirbt [und ist] **totes Zooplankton**. I, III
Zooplankton stirbt und ist dann **tote Lebewesen**. II
Fisch frisst **Zooplankton**. I, II, III
Fisch frisst **Phytoplankton**. I, II
Mensch fängt **Fisch**. II
Zooplankton frisst **Phytoplankton**. II, III
Bakterien produzieren **CO₂**. I
Fische produzieren **CO₂**. I, II, III
Mensch produziert **CO₂**. II
Zooplankton produziert **CO₂**. II, III
Phytoplankton verbraucht **CO₂**. II
Mensch leitet **Gifte/ Schadstoffe** ins Wasser. II
Mensch produziert **Abgase/ Emissionen**. II
Abgase/ Emissionen lösen sich in Wasser [als] **Gifte/ Schadstoffe**. II
Mensch wirft **organ. Abfall** ins Wasser. II
Gifte/ Schadstoffe vergiften **Zooplankton**. II
Gifte/ Schadstoffe vergiften **Fische**. II
Gifte/ Schadstoffe vergiften **Phytoplankton**. II
Bakterien zersetzen **tote Lebewesen**. II
Exkreme werden [von] **Bakterien** zersetzt. III

Bakterien zersetzen **totes Zooplankton**. I, III
Toter Fisch bildet durch Ablagerung **Sediment**. I
Bakterien zersetzen **totes Phytoplankton**. I, III
totes Zooplankton bildet durch Ablagerung **Sediment**. I
Totes Phytoplankton bildet durch Ablagerung **Sediment**. I
Bakterien zersetzen **toten Fisch**. I, III
tote Lebewesen bilden **Sediment**. II
Sediment besteht aus **Mineralien** (z. B. Silikat, Phosphat ...). II
Ba Zersetzungsprodukte lagern sich [im] **Sediment** ab. III
Bakterien produzieren **Zersetzungsprodukte**. III
Organ. N-Verbindungen lagern sich [im] **Sediment** ab. III

Fachwissenschaftlich falsche Relationen:

Sediment besteht aus **organ. N-Verbindungen**. F I, II
Bakterien setzen **organ. N-Verbindungen** frei. F III
Organ. N-Verbindungen lösen sich in Wasser (Ionenbildung) [zu] NO_3^- . F I, II, III
Organ. N-Verbindungen lösen sich in Wasser (Ionenbildung) [zu] NH_4^+ . F I, II, III
Organ. Abfall löst sich in Wasser [zu] NO_3^- . F II
Organ. Abfall löst sich in Wasser [zu] NH_4^+ . F II
 NH_4^+ beeinträchtigt **Fisch**. F I
 NO_3^- beeinträchtigt **Fisch**. F I
 NH_4^+ beeinträchtigt **Phytoplankton**. F I
 NO_3^- beeinträchtigt **Phytoplankton**. F I
 NH_4^+ beeinträchtigt **Zooplankton**. F I
 NO_3^- beeinträchtigt **Zooplankton**. F I
Mineralien (z. B. Silikat, Phosphat ...) wird verbraucht von **Zooplankton**. F II
Organ. Abfall erhöht Konzentration [an] NH_4^+ . F II
Organ. Abfall erhöht Konzentration [an] NO_3^- . F II
Fische benötigen **Licht** zum Wachsen. F II
Mineralien (z. B. Silikat, Phosphat ...) werden verbraucht [von] **Fischen**. F II
Zooplankton benötigt **Licht** zum wachsen. F II
Fische leben oberhalb von der **Pyknokline**. F III
 NO_3^- wird aufgenommen für die Nahrung [von] **Fischen**. F III
 NH_4^+ wird aufgenommen über die Nahrung [von] **Fischen**. F III

Schritt 2:

Referenznetz basierte Auswahl von Relationen (CAHA)

Folgende Relationen wurden nicht ausgewählt, weil sie inhaltlich nicht im Referenznetz vorkommen:

- **Licht** dringt vor bis [ins] **Epipelagial**. III
- **Licht** dringt nicht vor bis [ins] **Mesopelagial**. III
- **Phytoplankton** lebt oberhalb von der **Pyknokline**. III
- **Zooplankton** lebt oberhalb von der **Pyknokline**. III
- **Fische** leben oberhalb von der **Pyknokline**. F III

Schritt 2.1: Zusammenfassung von Relationen (CAHA)

Licht (2x) dringt vor ins Meer. I

Licht (2x) dringt [aus der Atmosphäre] ins Wasser vor. II

Zusammenfassung: **Licht** (2x) dringt [aus der Atmosphäre] ins Wasser vor. I, II

CO₂ (2x) löst sich im Wasser. I,

CO₂ (2x) löst sich [aus der Atmosphäre] im Wasser. II, III

Zusammenfassung: **CO₂** (2x) löst sich [aus der Atmosphäre] im Wasser. I, II, III

Phytoplankton produziert **O₂**. II

O₂ wird [von] **Phytoplankton** durch Fotosynthese produziert. III

Zusammenfassung: **Phytoplankton** produziert fotosynthetisch **O₂**. II, III

Schritt 2.2: Auflistung der Begriffe und Relationen

Tabelle 36: Auflistung der Begriffe der transkribierten Concept Maps des Probanden CAHA

Die Dokumentation der Begriffe (Knoten, KNO) erfolgt unter Angabe des Vorkommens in den Messzeitpunkten (I.-III.). Die Anzahl der Häkchen repräsentiert die Häufigkeit des jeweiligen Begriffs in dem Concept Map.

Begriff	I.	II.	III.
Licht	√√	√√	√
CO ₂	√√	√√	√√
O ₂	√√	√√	√√
Phytoplankton	√	√	√
NH ₄ ⁺	√	√	√
NO ₃ ⁻	√	√	√
Bakterien	√	√	√
Fische	√	√	√
Zooplankton	√	√	√
organ. N-Verbindungen	√	√	√
Sediment	√	√	√
Fotosynthese	√		
Totes Zooplankton	√		√
Totes Phytoplankton	√		√
Toter Fisch	√		√
Mineralien		√	
Mensch		√	
Gifte/ Schadstoffe		√	
Abgase/ Emission		√	
organ. Abfall		√	
tote Lebewesen		√	
Zersetzungsprodukte			√
Exkrement			√

Tabelle 37: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel (s. Bewertungsschema für IS) des Probanden CAHA

Nr. Relation	I	II	III	Punkte	Regel
Licht (2x) dringt [aus der Atmosphäre] ins Wasser vor.	√	√		1	1.2
CO ₂ (2x) löst sich [aus der Atmosphäre] im Wasser.	√	√	√	3	3.1
O ₂ (2x) löst sich [aus der Atmosphäre] im Wasser.	√	√	√	3	3.1
CO ₂ wird durch Dissimilation von Phytoplankton produziert.			√	3	3.1
Phytoplankton verbraucht CO ₂ .	√			3	3.1
CO ₂ wird durch Assimilation [von] Phytoplankton verbraucht.			√	3	3.1
Licht wird [für] Fotosynthese benötigt.	√			3	3.2
Phytoplankton benötigt Licht für Fotosynthese.		√	√	3	3.1
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.	√			3	3.1
Fotosynthese produziert O ₂ .	√			3	3.2
Phytoplankton produziert fotosynthetisch O ₂ .		√	√	3	3.1
O ₂ wird nachts [von] Phytoplankton durch Atmung verbraucht.			√	3	3.1
NH ₄ ⁺ wird verwertet [von] Phytoplankton.		√	√	2	3.1 & N2
NO ₃ ⁻ wird verwertet [von] Phytoplankton.		√	√	3	3.1
Mineralien (z. B. Silikat, Phosphat ...) wird verbraucht [von] Phytoplankton.		√		3	3.1
O ₂ wird verbraucht [von] Bakterien.	√			1	1.1 & 1.2
Fische verbrauchen O ₂ .	√	√	√	3	3.1
Mensch verbraucht O ₂ .		√		1	1.2
Zooplankton benötigt/ braucht O ₂ .		√	√	3	3.1
Licht [ist] lebenswichtig [für] Fische.	√			1	1.2
Licht [ist] lebenswichtig [für] Zooplankton.	√			1	1.2
Fische sterben [und sind dann] toter Fisch.	√		√	0	0.2 & N3
Fische sterben [und sind dann] tote Lebewesen.		√		0	0.2 & N3
Phytoplankton stirbt [und ist] totes Phytoplankton.	√		√	0	0.2 & N3
Phytoplankton stirbt und ist dann tote Lebewesen.		√		0	0.2 & N3
Zooplankton stirbt [und ist] totes Zooplankton.	√		√	0	0.2 & N3
Zooplankton stirbt [und ist] tote Lebewesen.		√		0	0.2 & N3
Fisch frisst Zooplankton.	√	√	√	3	3.1
Fisch frisst Phytoplankton.	√	√		3	3.1
Mensch fängt Fisch.		√		1	1.2
Zooplankton frisst Phytoplankton.		√	√	3	3.1
Bakterien produzieren CO ₂ .	√			1	1.2
Fische produzieren CO ₂ .	√	√	√	3	3.1
Mensch produziert CO ₂ .		√		1	1.2
Zooplankton produziert CO ₂ .		√	√	3	3.1
Phytoplankton verbraucht CO ₂ .		√		3	3.1
Mensch leitet Gifte/ Schadstoffe ins Wasser.		√		1	1.2
Mensch produziert Abgase/ Emissionen.		√		1	1.2
Abgase/ Emissionen lösen sich in Wasser [als] Gifte/ Schadstoffe.		√		1	1.2
Mensch wirft organ. Abfall ins Wasser.		√		3	3.1
Gifte/ Schadstoffe vergiften Zooplankton.		√		1	1.2
Gifte/ Schadstoffe vergiften Fische.		√		1	1.2

VII. Anhang - Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler CAHA

Fortsetzung der Tabelle 37

Nr. Relation	I	II	III	Punkte	Regel
Gifte/ Schadstoffe vergiften Phytoplankton.		√		1	1.2
Bakterien zersetzen tote Lebewesen.		√		3	3.1 & N3
Exkremeate werden [von] Bakterien zersetzt.			√	3	3.1
Bakterien zersetzen totes Zooplankton.	√		√	3	3.1 & N3
Toter Fisch bildet durch Ablagerung Sediment.	√			3	3.1 & N3
Bakterien zersetzen totes Phytoplankton.	√		√	3	3.1 & N3
totes Zooplankton bildet durch Ablagerung Sediment.	√			3	3.1 & N3
Totes Phytoplankton bildet durch Ablagerung Sediment.	√			3	3.1 & N3
Bakterien zersetzen toten Fisch.	√		√	3	3.1
tote Lebewesen bilden Sediment.		√		3	3.1 & N3
Sediment besteht aus Mineralien (z. B. Silikat, Phosphat...).		√		2	2.3
Zersetzungsprodukte lagern sich [im] Sediment ab.			√	1	1.2
Bakterien produzieren Zersetzungsprodukte.			√	0	0.2 & 0.3
Organ. N-Verbindungen lagern sich [im] Sediment ab.			√	3	3.1
Sediment besteht aus organ. N-Verbindungen.	√	√		1	1.1
Bakterien setzen organ. N-Verbindungen frei.			√	0	0.1
Organ. N-Verbindungen lösen sich in Wasser (Ionenbildung) [zu] NO_3^- .	√	√	√	0	0.1
Organ. N-Verbindungen lösen sich in Wasser (Ionenbildung) [zu] NH_4^+ .	√	√	√	0	0.1
Organ. Abfall löst sich in Wasser [zu] NO_3^- .		√		0	0.1
Organ. Abfall löst sich in Wasser [zu] NH_4^+ .		√		0	0.1
NH_4^+ beeinträchtigt Fisch.	√			1	1.1
NO_3^- beeinträchtigt Fisch.	√			0	0.1
NH_4^+ beeinträchtigt Phytoplankton.	√			0	0.1
NO_3^- beeinträchtigt Phytoplankton.	√			0	0.1
NH_4^+ beeinträchtigt Zooplankton.	√			0	0.1
NO_3^- beeinträchtigt Zooplankton.	√			0	0.1
Mineralien (z. B. Silikat, Phosphat ...) wird verbraucht von Zooplankton.		√		0	0.1
Organ. Abfall erhöht Konzentration [an] NH_4^+ .		√		1	1.1
Organ. Abfall erhöht Konzentration [an] NO_3^- .		√		1	1.1
Fische benötigen Licht zum Wachsen.		√		0	0.2
Mineralien (z. B. Silikat, Phosphat ...) werden verbraucht [von] Fischen.		√		0	0.1
Zooplankton benötigt Licht zum wachsen.		√		0	0.2
NO_3^- wird aufgenommen für die Nahrung [von] Fischen.			√	0	0.1
NH_4^+ wird aufgenommen über die Nahrung [von] Fischen.			√	1	1.1
Individueller Summenscore:	55	68	61		
0 Punkte	10	11	8		
1 Punkt	7	13	2		
2 Punkte	0	2	1		
3 Punkte	16	17	19		

Schritt 2.3:

Beschriftungen sammeln, zusammenfassen und codieren

folgende Beschriftungen werden zusammengefasst:

wird verwertet [von]

wird verbraucht [von]

Zusammenfassung: wird verbraucht [von]

braucht

benötigt

Zusammenfassung: benötigt/ braucht

Tabelle 38: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps (CAHA)

Synonyme (Zahlencodes) repräsentieren in den transkribierten CM die Beschriftungen der Verknüpfungen (Pfeile); F, fachwissenschaftlich falsche Kante.

Synonym	Beschriftung der Verknüpfung
1	(2x) dringt [aus der Atmosphäre] ins Wasser vor.
2	(2x) löst sich [aus der Atmosphäre] im Wasser.
3	wird durch Dissimilation von ... produziert.
4	verbraucht/ verbrauchen
5	wird durch Assimilation [von] ... verbraucht.
6	wird [für] ... benötigt.
7	benötigt ... für Fotosynthese.
8	betreibt
9	produziert fotosynthetisch
10	wird nachts [von] ... durch Atmung verbraucht
11	lagern sich [im] ... ab
12	wird/ werden verbraucht [von]
13	benötigt/benötigen bzw. braucht/ brauchen
14	[ist] lebenswichtig [für]
15	frisst/ fressen
16	stirbt/sterben [und ist/sind dann]
17	fängt
18	produziert/produzieren
19	leitet ... ins Wasser
20	zersetzen
21	werden [von] ... zersetzt
22	lösen sich in Wasser [als]
23	wirft ... ins Wasser.
24	vergiften
25	bildet durch Ablagerung
26	bilden
27	besteht aus
28	besteht aus (F)
29	setzen ... frei (F)
30	löst/ lösen sich in Wasser (Ionenbildung) [zu] (F)
31	beeinträchtigt (F)
32	(z. B. Silikat, Phosphat ...) wird/ werden verbraucht von (F)
33	erhöht Konzentration [an] (F)
34	benötigen ... zum Wachsen (F)
35	wird aufgenommen für die Nahrung [von] (F)
36	wird/ werden verbraucht [von] (F)

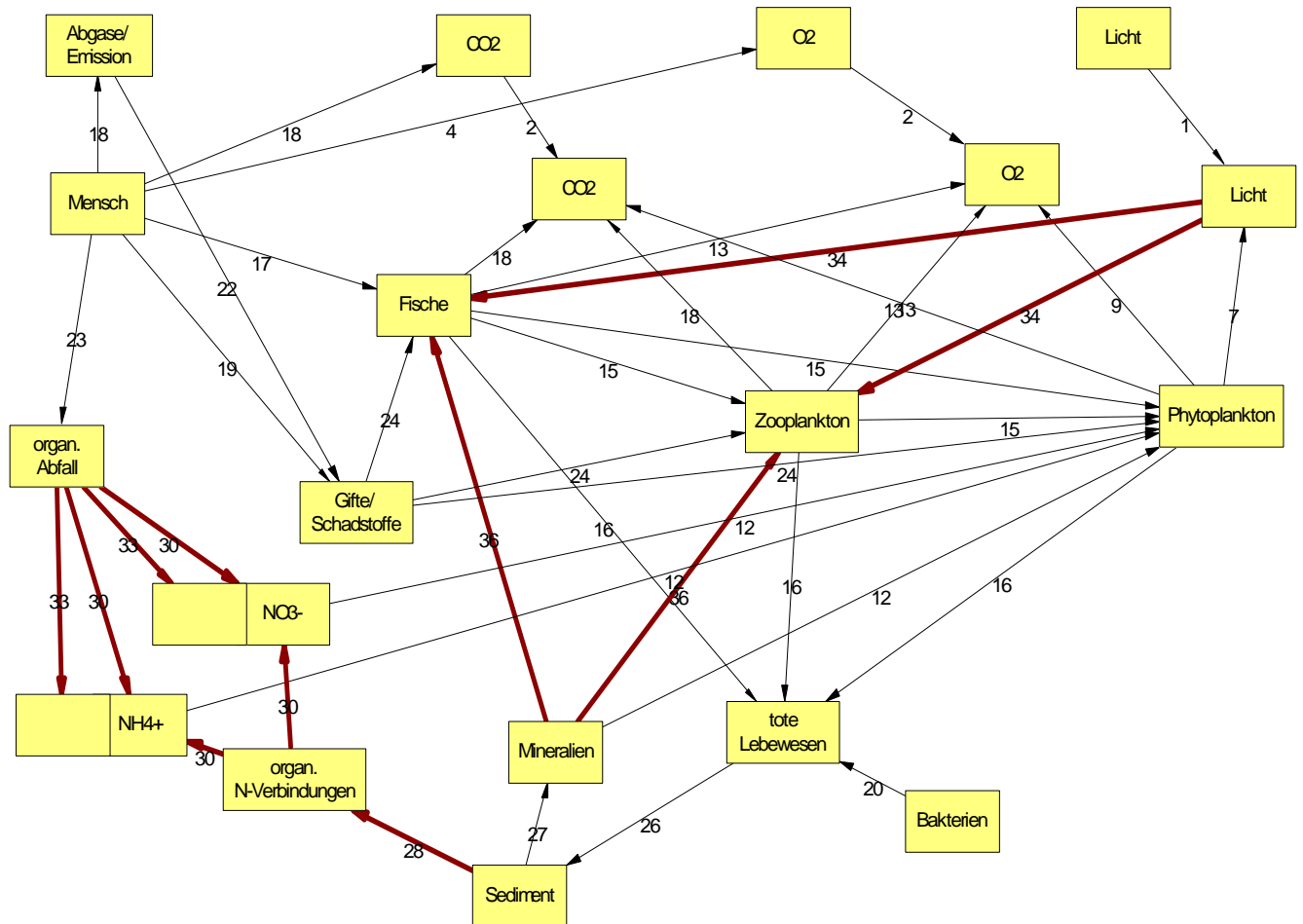


Abb. 44: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler CAHA (MZP II)

In der Abbildung finden sich Doppelkästchen, die jeweils als ein Kästchen zu interpretieren sind. Dies ergab sich Software bedingt, da die Software keine Hin- und Rückpfeile zwischen zwei Begriffen zuließ.

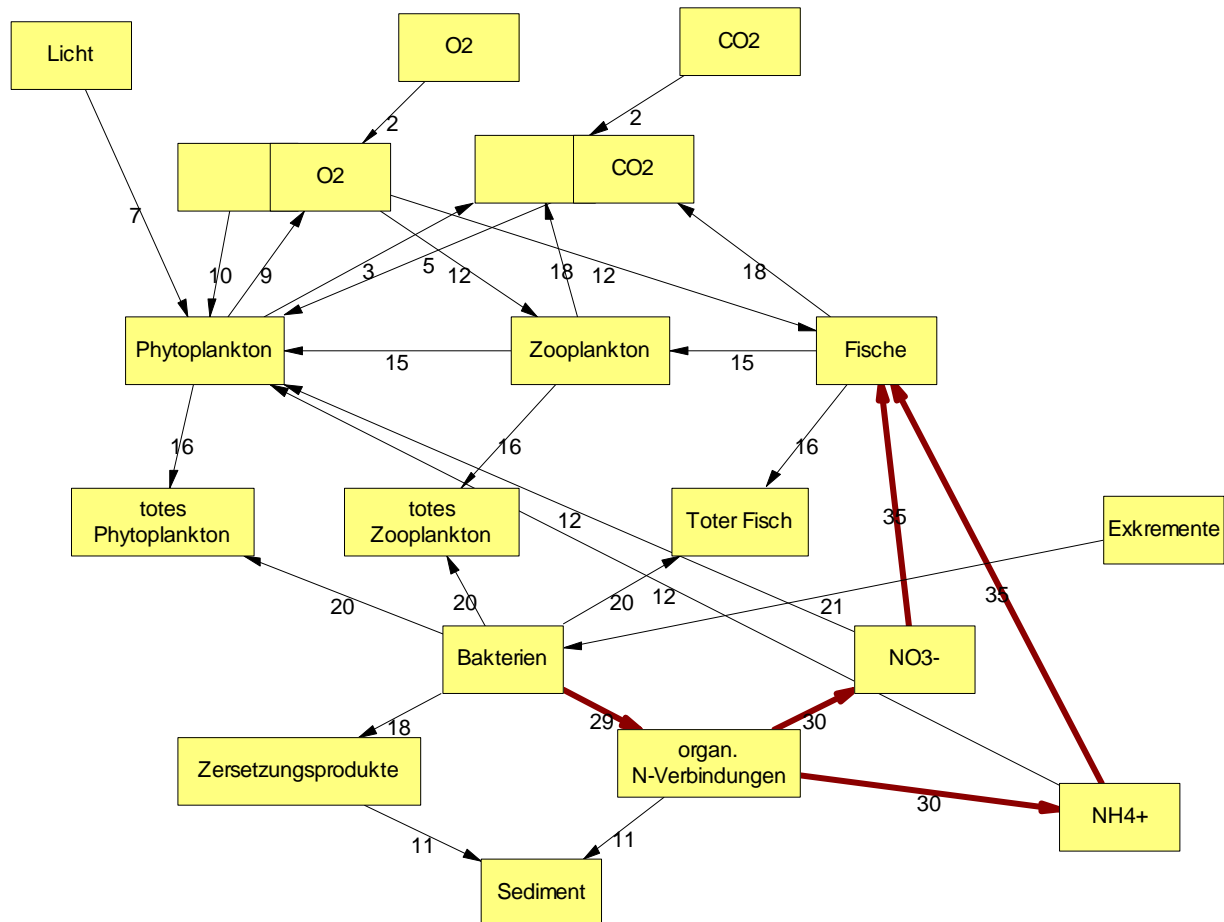


Abb. 45: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler CAHA (MZP III)

In der Abbildung finden sich Doppelkästchen, die jeweils als ein Kästchen zu interpretieren sind. Dies ergab sich Software bedingt, da die Software keine Hin- und Rückpfeile zwischen zwei Begriffen zuließ.

Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (CAHA)

	I	II	III
Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser:			
CO ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser	x	x	x
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
O ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser	x	x	x
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
Fotosynthese und Nährstoffe:			
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.	x	x	x
Licht wird vom Phytoplankton [für Fotosynthese] aufgenommen.	x	x	x
Phytoplankton nimmt CO ₂ auf.	x	x	x
Phytoplankton gibt O ₂ ab.	x	x	x
Phytoplankton nimmt Nährstoffe auf. (hier sind alle Nährstoffe gemeint, außer NO ₃ ⁻ und NH ₄ ⁺)		x	
NO ₃ ⁻ wird von Phytoplankton aufgenommen.		x	x
NH ₄ ⁺ wird von Phytoplankton aufgenommen.		x	x
Respiration des Phytoplanktons:			
Phytoplankton nimmt O ₂ auf.			x
Phytoplankton gibt CO ₂ ab.			x
Dissimilation (Respiration) heterotropher Lebewesen:			
Zooplankton nimmt O ₂ auf.		x	x
Zooplankton gibt CO ₂ ab.		x	x
Fische nehmen O ₂ auf.	x	x	x
Fische geben CO ₂ ab.	x	x	x
Einfache Nahrungskette:			
Phytoplankton wird von Zooplankton gefressen.		x	x
Zooplankton wird von Fischen gefressen.	x	x	x
Phytoplankton wird von Fischen gefressen.	x	x	
Nach dem Absterben von Lebewesen sinken die toten Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen ab ins Sediment.	x	x	
Mikrobielle Schleife:			
Bakterien können dem Zooplankton als Nahrung dienen.			

VII. Anhang - Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler CAHA

Fortsetzung der Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (CAHA)

	I	II	III
Nährstoffkreislauf:			
Destruenten (Bakterien) zersetzen organ. Stoffe ¹ .	x	x	x
¹ Organ. Stoffe sind tote Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen	x	x	x
¹ Organ. Stoffe sind organ. N-Verbindungen ²			
² Organ. N-Verbindungen sind Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen.			
Über die Zersetzung organ. Stoffe durch Destruenten (Bakterien) werden Nährstoffe freigesetzt.			
Nährstoffe sind:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH_4^+			
NO_3^-			
Folgende von den bakteriell abgebauten Nährstoffen werden vom Phytoplankton aufgenommen:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH_4^+			
NO_3^-			
Nitrifikation:			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH_4^+ -Ionen bzw. NO_3^- -Ionen freigesetzt.			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH_4^+ Ionen freigesetzt.			
Bakterien können aus NH_4^+ NO_3^- bilden.			
Bestimmte Bakterien (Nitritbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus NH_4^+ Nitrit (NO_2^-).			
Bestimmte Bakterien (Nitratbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus Nitrit Nitrat (NO_3^-).			

Fachwissenschaftlich falsche Kanten und Korrektur (CAHA)

MZP I	MZP II	MZP III
1: Das Sediment besteht aus organ. N-Verbindungen.		Teilweise korrigiert in: Organ. N-Verbindungen lagern sich im Sediment ab.
2: Organ. N-Verbindungen lösen sich im Wasser zu NO_3^- und NH_4^+ .	Erweitert: a). Organ. Abfall erhöht die Konzentration an NH_4^+ und NO_3^- . b). Die Ionen NH_4^+ und NO_3^- stammen weiterhin aus organ. Abfall des Menschen, indem sie sich aus dem Abfall im Wasser lösen.	bleibt bestehen Kommt nicht mehr vor.
3: 3a. Die Ionen NO_3^- und NH_4^+ beeinträchtigen Phytoplankton. 3b. Die Ionen NO_3^- und NH_4^+ beeinträchtigen Zooplankton Die Ionen NO_3^- und NH_4^+ beeinträchtigen Fische.	Korrigiert: 3a Die Ionen NH_4^+ und NO_3^- werden vom Phytoplankton verbraucht/ verwertet. 3b kommt nicht mehr vor.	 3c: Die Ionen NH_4^+ und NO_3^- werden von Fischen als Nahrung aufgenommen.
	4: Mineralien werden vom Zooplankton und von Fischen verbraucht.	Kommt nicht mehr vor.
	5: Fische und Zooplankton brauchen Licht zum Wachsen.	Kommt nicht mehr vor.

VII.6.1.5 Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler COBE

Schritt 1:

Auflistung aller Relationen der Concept Maps (CM) der Messzeitpunkte (I-III) (COBE)

Sonne erzeugt **Licht**. II

Licht erzeugt **Wärme**. II

Phytoplankton braucht **Licht** für den Energiestoffwechsel (Chlorophyll). I

Licht wird [von] **Phytoplankton** für Glukoseproduktion ($C_6H_{12}O_2$, Fotosynthese) [benötigt] (Anmerkung: $C_6H_{12}O_2$ fachwissenschaftlich falsche Formel angegeben!). II, III

Phytoplankton benötigt **CO₂**. I

CO₂ [ist] für Fotosynthese [in] **Phytoplankton** [nötig]. III

Phytoplankton produziert **O₂**. I, III

O₂ wird benötigt und produziert (Zellatmung – Fotosynthese) [von] **Phytoplankton**. II

Phytoplankton benötigt eine Mindest-**Temperatur** für Fotosynthese. I

Phytoplankton benötigt einen bestimmten **pH-Wert** für Fotosynthese. I

Algen benötigen **Licht** für $C_6H_{12}O_6$ Produktion. II

Algen benötigen zum Überleben **Phosphat**. II

Algen benötigen zum Überleben **Silikat**. II

Algen benötigen zum Überleben **Nitrat**. II

Phytoplankton nimmt **NO₃⁻** auf. III

Bakterien können **NH₄⁺** umwandeln [in **NO₃⁻**]. III

Umgewandeltes Produkt [von] Nitrit-**Bakterien** [ist] **NO₃⁻**. III (Anmerkung: nicht ganz korrekt, denn korrekt wäre Nitrat-Bakterien)

Sediment [ist] Lebensraum [für] **Bakterien**. III

Organ. N-Verbindungen [sind] enthalten in **H₂O**. I

Bakterien reinigen **H₂O**. I

Die **Wasserqualität** kann bestimmt werden durch **organ. N-Verbindungen**. I

Fische laichen im **Sediment**. I

Bakterien leben im **Sediment**. I, **Bakterien** leben zum Teil im **Sediment**. II

Fische ernähren sich von **Zooplankton**. I, II, III

Zooplankton ernährt sich von **Bakterien**. I, II

Fische ernähren sich von **Phytoplankton**. I, II, III

Konsumenten höherer Ordnung, z. B. Wale benötigen **O₂**. II

Fische beziehen **O₂** aus **H₂O**. II

O₂ [ist] zum Atmen [der] **Fische**. III

Fische erzeugen **CO₂**. II

CO₂ [ist] Abfallprodukt durch Zellatmung [der] **Fische**. III

Fische benötigen **Wärme** für enzymatische Prozesse. II

Phytoplankton benötigt **Wärme** für enzymatische Prozesse. II

Zooplankton benötigt **Wärme** für enzymatische Prozesse. II

Krill besteht aus **Zooplankton**. II

Fachwissenschaftlich falsche Relationen:

Krill besteht aus **Phytoplankton**. F II

Phytoplankton reinigt **H₂O**. F I

Zooplankton reinigt **H₂O**. F I

Fische filtern die **Luft** mit Kiemen aus **H₂O**. F I

Phytoplankton ernährt sich von **Bakterien**. F I

Konsumenten höherer Ordnung, z. B. Wale ernähren sich von **Krill**. F II

O₂ wird benötigt und produziert (Zellatmung – Fotosynthese) [von] **Zooplankton**. F II

Phytoplankton ernährt sich von **Bakterien**. F II

Licht wird [von] **Zooplankton** für Glukoseproduktion ($C_6H_{12}O_2$, Fotosynthese) [benötigt] (Anmerkung: $C_6H_{12}O_2$ fachwissenschaftlich falsche Formel angegeben!). F II

Krill besteht aus **Fischen**. F II

Organ. N-Verbindungen [sind] für DNS etc. [der] **Fische**. F III

Phytoplankton „umwandeln“ **organ. N-Verbindungen**. F III

Schritt 2:

Referenznetz basierte Auswahl von Relationen (COBE)

Folgende Relationen werden nicht ausgewählt:

- **Phytoplankton** benötigt eine Mindest-**Temperatur** für Fotosynthese. I
- **Phytoplankton** benötigt einen bestimmten **pH-Wert** für Fotosynthese. I
- **Fische** laichen im **Sediment**. I
- **Fische** benötigen **Wärme** für enzymatische Prozesse. II
- **Phytoplankton** benötigt **Wärme** für enzymatische Prozesse. II
- **Zooplankton** benötigt **Wärme** für enzymatische Prozesse. II

Schritt 2.1: Zusammenfassung von Relationen (COBE)

Phytoplankton braucht **Licht** für den Energiestoffwechsel (Chlorophyll). I

Licht wird [von] **Phytoplankton** für Glukoseproduktion ($C_6H_{12}O_2$, Fotosynthese) [benötigt] ($C_6H_{12}O_2$ ACHTUNG: fachwissenschaftlich falsche Formel angeben!). II, III

→ **Phytoplankton** braucht **Licht** für Fotosynthese. I. II. III

Phytoplankton benötigt **CO₂**. I

CO₂ [ist] für Fotosynthese [in] **Phytoplankton** [nötig]. III

→ **Phytoplankton** benötigt **CO₂** für Fotosynthese. I, III

Schritt 2.2: Auflistung der Begriffe und Relationen

Tabelle 39: Auflistung der Begriffe der transkribierten Concept Maps des Probanden COBE

Die Dokumentation der Begriffe (Knoten, KNO) erfolgt unter Angabe des Vorkommens in den Messzeitpunkten (I.-III.). Die Anzahl der Häkchen repräsentiert die Häufigkeit des jeweiligen Begriffs in dem Concept Map.

Begriff	I.	II.	III.
Licht	√	√	√
Bakterien	√	√	√
Fische	√	√	√
CO ₂	√	√	√
O ₂	√	√	√
Phytoplankton	√	√	√
Zooplankton	√	√	√
Sediment	√	√	√
Organ. N-Verbindungen	√	√	√
H ₂ O	√	√	
Wasserqualität	√		
Algen		√	
Krill		√	
Konsumenten		√	
Phosphat		√	
Nitrat		√	
Silikat		√	
NO ₃ ⁻			√
NH ₄ ⁺			√

Tabelle 40: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel (s. Bewertungsschema für IS) des Probanden COBE

Relation	I	II	III	Punkte	Regel
Phytoplankton produziert O ₂ .	√		√	3	3.1
O ₂ wird benötigt und produziert (Zellatmung – Fotosynthese) [von] Phytoplankton.		√		1	1.1
Phytoplankton braucht Licht für Fotosynthese.	√	√	√	3	3.1
Phytoplankton benötigt CO ₂ für Fotosynthese.	√		√	3	3.1
Algen benötigen Licht für C ₆ H ₁₂ O ₆ Produktion.		√		3	3.1
Algen benötigen zum Überleben Phosphat.		√		3	3.1
Algen benötigen zum Überleben Silikat.		√		3	3.1
Algen benötigen zum Überleben Nitrat.		√		3	3.1
Phytoplankton nimmt NO ₃ ⁻ auf.			√	3	3.1
Bakterien können NH ₄ ⁺ umwandeln [in NO ₃ ⁻].			√	3	3.1
Umgewandeltes Produkt [von] Nitrit-Bakterien [ist] NO ₃ ⁻ .			√	1	1.1
Sediment [ist] Lebensraum [für] Bakterien.			√	1	1.2
Organ. N-Verbindungen [sind] enthalten in H ₂ O.	√			1	1.2
Bakterien reinigen H ₂ O.	√			1	1.2
Die Wasserqualität kann bestimmt werden durch organ. N-Verbindungen.	√			1	1.2
Bakterien leben im Sediment.	√			1	1.2
Bakterien leben zum Teil im Sediment.		√		1	1.2
Fische ernähren sich von Zooplankton.	√	√	√	1	1.2
Zooplankton ernährt sich von Bakterien.	√	√		1	1.2
Zooplankton ernährt sich von Phytoplankton.			√	1	1.2
Fische ernähren sich von Phytoplankton.	√	√		3	3.1
Konsumenten höherer Ordnung, z. B. Wale benötigen O ₂ .		√		3	3.1
Fische beziehen O ₂ aus H ₂ O.		√		3	3.1
O ₂ [ist] zum Atmen [der] Fische.			√	3	3.1
Fische erzeugen CO ₂ .		√		3	3.2
CO ₂ [ist] Abfallprodukt durch Zellatmung [der] Fische.			√	3	3.2
Krill besteht aus Zooplankton.		√		1	1.2
Krill besteht aus Phytoplankton.		√		0	0.1
Phytoplankton reinigt H ₂ O.	√			0	0.1
Zooplankton reinigt H ₂ O.	√			0	0.1
Fische filtern die Luft mit Kiemen aus H ₂ O.	√			1	1.1
Phytoplankton ernährt sich von Bakterien.	√	√		0	0.1
Konsumenten höherer Ordnung, z. B. Wale ernähren sich von Krill.		√		1	1.1
O ₂ wird benötigt und produziert (Zellatmung – Fotosynthese) [von] Zooplankton.		√		1	1.1
Licht wird [von] Zooplankton für Glukoseproduktion (C ₆ H ₁₂ O ₂ ¹⁶³ , Fotosynthese) [benötigt].		√		0	0.1
Krill besteht aus Fischen.		√		0	0.1
Organ. N-Verbindungen [sind] für DNS etc. [der] Fische.			√	1	1.1
Phytoplankton „umwandeln“ organ. N-Verbindungen.			√	0	0.1

¹⁶³ Fachwissenschaftlich falsche chemische Formel für Glukose.

Fortsetzung der Tabelle 40

Relation	I	II	III		
Individueller Summenscore	19	34	26		
O Punkte	2	4	1		
1 Punkt	7	7	5		
2 Punkte	0	0	0		
3 Punkte	4	9	7		

Schritt 2.3:

Beschriftungen sammeln, zusammenfassen und codieren

folgende Beschriftungen werden zusammengefasst:

braucht ... für Fotosynthese

benötigt ... für Fotosynthese

Zusammenfassung: braucht ... für Fotosynthese

benötigen ... für $C_6H_{12}O_6$ Produktion. II

benötigen zum Überleben ... II

Zusammenfassung: benötigen

erzeugt/ erzeugen

produziert

Zusammenfassung: erzeugt/ erzeugen

Tabelle 41: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps

Synonyme (Zahlencodes) repräsentieren in den transkribierten CM die Beschriftungen der Verknüpfungen (Pfeile); F, fachwissenschaftlich falsche Kante.

Synonym	Beschriftung der Verknüpfung
1	erzeugt/ erzeugen
2	benötigt/ benötigen
3	wird benötigt und produziert (Zellatmung – Fotosynthese) [von]
4	braucht ... für Fotosynthese
5	nimmt ... auf
6	können ... umwandeln [in NO_3^-].
7	Umgewandeltes Produkt [von] Nitrit ... [ist]
8	[ist] Lebensraum [für]
9	[sind] enthalten in
10	reinigen
11	kann bestimmt werden durch
12	leben im
13	leben zum Teil im
14	ernährt/ernähren sich von
15	höherer Ordnung, z. B. Wale benötigen
16	beziehen O_2 aus
17	[ist] zum Atmen [der]
18	[ist] Abfallprodukt durch Zellatmung [der]
19	besteht aus
20	besteht aus (F)
21	reinigt (F)

Fortsetzung Tabelle 41

Synonym	Beschriftung der Verknüpfung
22	filtern die Luft mit Kiemen aus (F)
23	ernährt/ ernähren sich von (F)
24	höherer Ordnung, z. B. Wale ernähren sich von (F)
25	wird benötigt und produziert (Zellatmung – Fotosynthese) [von] (F)
26	wird [von] ... für Glukoseproduktion $C_6H_{12}O_6$ (Fotosynthese)
27	[sind] für DNS etc. [der] (F)
28	„umwandeln“ (F)
29	wird [von] ... für Glukoseproduktion $C_6H_{12}O_2$ ¹⁶⁴ (Fotosynthese) benötigt (F)

Schritt 3:

Erstellen der transkribierten Concept Maps (COBE)

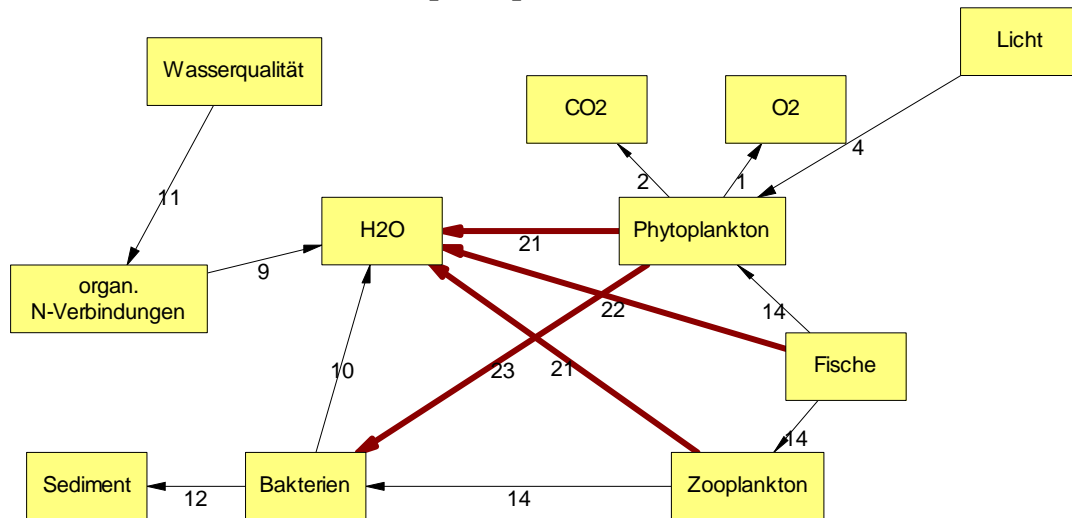


Abb. 46: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler COBE (MZIP I)

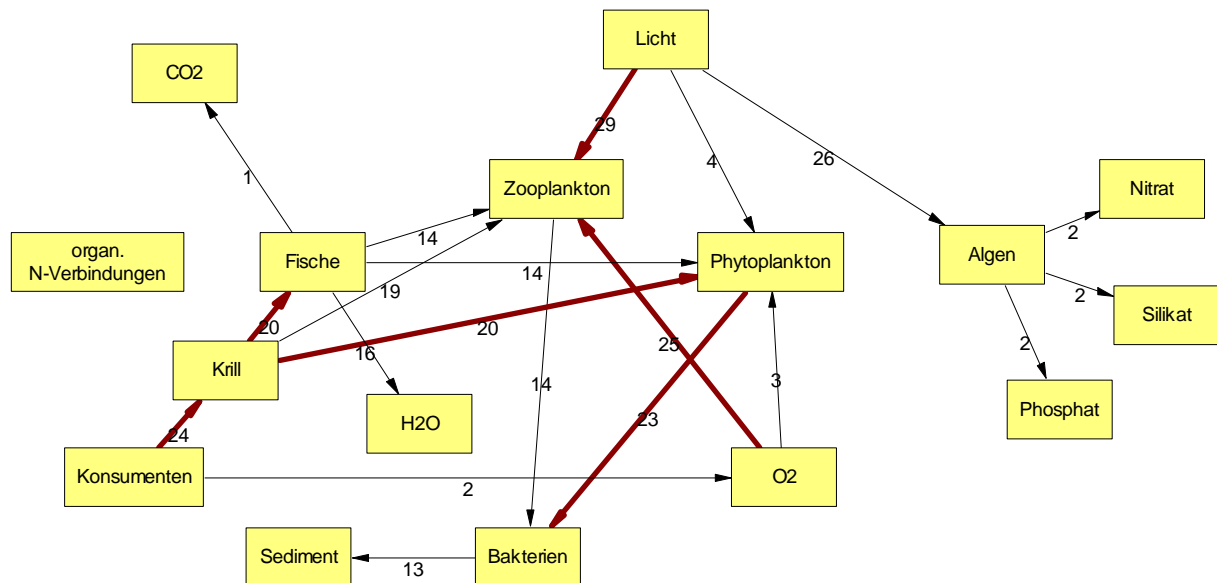


Abb. 47: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler COBE (MZIP II)

¹⁶⁴ Fachwissenschaftlich falsche chemische Formel für Glukose.

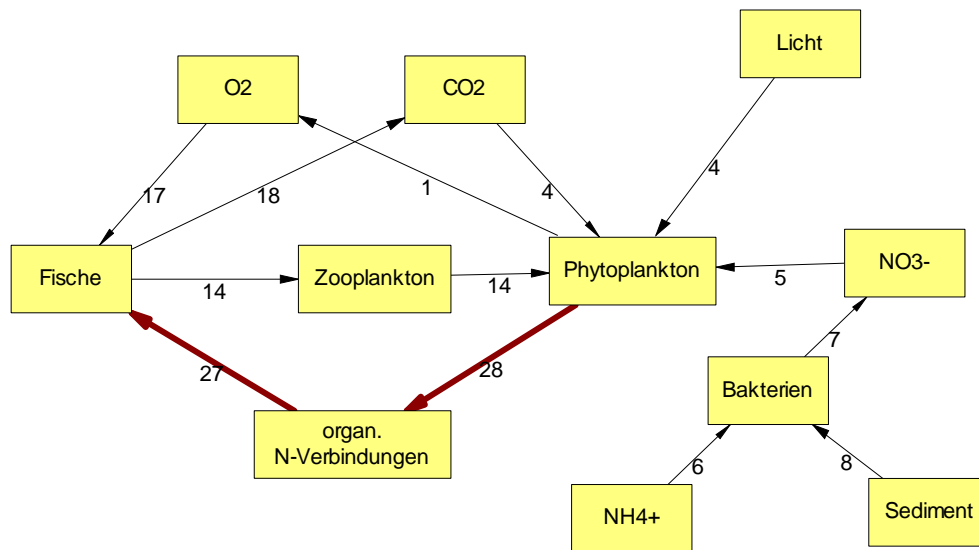


Abb. 48: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler COBE (MZIP III)

Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (COBE)

	I	II	III
Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser:			
CO ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
O ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
Fotosynthese und Nährstoffe:			
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.	x	x	x
Licht wird vom Phytoplankton [für Fotosynthese] aufgenommen.	x	x	x
Phytoplankton nimmt CO ₂ auf.	x		x
Phytoplankton gibt O ₂ ab.	x	x	x
Phytoplankton nimmt Nährstoffe auf. (hier sind alle Nährstoffe gemeint, außer NO ₃ ⁻ und NH ₄ ⁺)		x (1)	
NO ₃ ⁻ wird von Phytoplankton aufgenommen.		x (1)	x
NH ₄ ⁺ wird von Phytoplankton aufgenommen.			
Respiration des Phytoplanktons:			
Phytoplankton nimmt O ₂ auf.		x	
Phytoplankton gibt CO ₂ ab.			

Fortsetzung der Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (COBE)

	I	II	III
Dissimilation (Respiration) heterotropher Lebewesen:			
Zooplankton nimmt O ₂ auf.		x	
Zooplankton gibt CO ₂ ab.			
Fische nehmen O ₂ auf.		x	x
Fische geben CO ₂ ab.		x	x
Einfache Nahrungskette:			
Phytoplankton wird von Zooplankton gefressen.			x
Zooplankton wird von Fischen gefressen.	x	x	x
Phytoplankton wird von Fischen gefressen.	x	x	
Nach dem Absterben von Lebewesen sinken die toten Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen ab ins Sediment.			
Mikrobielle Schleife:			
Bakterien können dem Zooplankton als Nahrung dienen.	x (2)	x (2)	
Nährstoffkreislauf:			
Destruenten (Bakterien) zersetzen organ. Stoffe ¹ .			
¹ Organ. Stoffe sind tote Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen			
¹ Organ. Stoffe sind organ. N-Verbindungen ²			
² Organ. N-Verbindungen sind Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen.			
Über die Zersetzung organ. Stoffe durch Destruenten (Bakterien) werden Nährstoffe freigesetzt.			
Nährstoffe sind:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH ₄ ⁺			
NO ₃ ⁻			
Folgende von den bakteriell abgebauten Nährstoffen werden vom Phytoplankton aufgenommen:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH ₄ ⁺			
NO ₃ ⁻			
Nitrifikation:			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH ₄ ⁺ -Ionen bzw. NO ₃ ⁻ -Ionen freigesetzt.			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH ₄ ⁺ Ionen freigesetzt.			
Bakterien können aus NH ₄ ⁺ NO ₃ ⁻ bilden.			x
Bestimmte Bakterien (Nitritbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus NH ₄ ⁺ Nitrit (NO ₂ ⁻).			
Bestimmte Bakterien (Nitratbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus Nitrit Nitrat (NO ₃ ⁻).			

Anmerkungen:

(1) Hier steht im Original-Concept-Map statt Phytoplankton „Algen“. Es gibt keine Verbindung zwischen Phytoplankton und Algen aus der interpretiert werden könnte, dass der Proband weiß, dass Phytoplankton Algen sind.

(2) Hier stellt Proband allerdings auch dar, dass Bakterien Nahrung für Phytoplankton sind.

Falsche Kanten und korrigierte falsche Kanten (COBE)

MZP I	MZP II	MZP III
1: Phytoplankton ernährt sich von Bakterien.	bleibt	---
2: Phytoplankton reinigt H ₂ O. Zooplankton reinigt H ₂ O.	---	---
3: Fische filtern mit ihren Kiemen die Luft aus dem Wasser.	Korrigiert in: Fische beziehen O ₂ aus dem H ₂ O.	
	4: Die Summenformel von Glukose ist C ₆ H ₁₂ O ₂ .	---
	5: Krill besteht aus Fischen und Phytoplankton.	---
	6: Zooplankton produziert O ₂ (Fotosynthese).	---
	7: Konsumenten höherer Ordnung, z. B. Wale ernähren sich von Krill.	---
		8: Umgewandeltes Produkt von Nitrtrit-Bakterien ist NO ₃ ⁻ .
		9: Phytoplankton wandeln organ. N-Verbindungen um.
		10: Organ. N-Verbindungen sind für die DNS der Fische.

VII.6.1.6 Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler HEHE

Schritt 1:

Auflistung aller Relationen der Concept Maps (CM) der Messzeitpunkte (I-III) (HEHE)

O₂ (2x)-Konzentration [ist in der Atmosphäre] größer als [im Wasserkörper]. I
O₂ (2x) [ist in Atmosphäre] mehr als [im Wasserkörper]. III
O₂ (2x) [-Konzentration unterhalb der Pyknokline] weniger als [oberhalb]. III
CO₂ (2x) [-Konzentration unterhalb der Pyknokline] mehr als [oberhalb]. III
Licht (2x) [ist oberhalb der Pyknokline] mehr als [unterhalb]. III
Licht (2x) dringt ins Wasser ein. I, II
Phytoplankton braucht zur Fotosynthese **Licht**. II, III
Phytoplankton nimmt **NO₃⁻** auf. III
CO₂ (2x) steigt [aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre] auf. I
CO₂ [aus der Atmosphäre] gleicht Konzentration [an] **CO₂** [im Wasser] aus. II
CO₂ [aus Wasser] gleicht Konzentration [an] **CO₂** [in Atmosphäre] aus. II
O₂ (2x) steigt teilweise auf [aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre]. I
O₂ [der Atmosphäre] gleicht Konzentration [von] **O₂** [des Wasserkörpers] aus. II
O₂ [des Wassers] gleicht Konzentration **O₂** [der Atmosphäre] aus. II
Phytoplankton braucht zur Zellatmung **O₂**. II, III
Phytoplankton produziert durch Fotosynthese **O₂**. II, III
Fische brauchen **O₂**. I
Fische atmen **O₂** ein. II, III
Zooplankton atmet **O₂** ein. II, III
Phytoplankton braucht zur Fotosynthese **CO₂**. II, III
Phytoplankton produziert durch Zellatmung **CO₂**. II, III
Zooplankton atmet **CO₂** aus. II, III
Fische atmen **CO₂** aus. II, III
Bakterien atmen **CO₂** aus. II
Fische scheiden **NH₄⁺** aus. III
Zooplankton ernährt **Fische**. I, III
Fische fressen **Zooplankton**. II
Fische fressen **Phytoplankton**. II
Phytoplankton ernährt **Fische**. I
Phytoplankton [ist] Nahrung für **Zooplankton**. III
Zooplankton wird nach dem Tod zu **Sediment**. I, III
Zooplankton stirbt, sinkt ab und wird zu **Sediment**. II
Phytoplankton stirbt, sinkt ab und wird zu **Sediment**. II
Fische sterben, sinken ab und werden zu **Sediment**. II, III
Sediment wird zersetzt durch **Bakterien**. I
Bakterien setzen dabei (bei der Zersetzung des Sediments) **NO₃⁻** frei. I
Bakterien setzen dabei (bei der Zersetzung des Sediments) **NH₄⁺** frei. I
Bakterien zersetzen **NH₄⁺**. III
Bakterien setzen dabei (bei der Zersetzung des Sediments) **CO₂** frei. I
Sediment wird zersetzt zu **CO₂**. I
Sediment besteht unter anderem aus **organ. N-Verbindungen**. I, III
Fische werden nach dem Tod zu **Sediment**. I
Phytoplankton wird nach dem Tod zu **Sediment**. I, III
Sediment enthält **organ. N-Verbindungen**. II
Organ. N-Verbindungen werden zersetzt zu **NO₃⁻**. II
Organ. N-Verbindungen werden zersetzt zu **NH₄⁺**. II
Bakterien zersetzen **organ. N-Verbindungen**. II, III
Bakterien produzieren **NO₃⁻**. III
Die Sprungschicht hindert **O₂** [unter Sprungschicht] am Konzentrationsausgleich mit **O₂** [über der Sprungschicht]. II

Fachwissenschaftlich falsche Relationen:

NO₃⁻ (2x) steigt [aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre] auf. F I

Licht sorgt für Wachstum [von] **Zooplankton**. F I

Zooplankton gibt **O₂** frei. F I

Zooplankton braucht **CO₂**. F I

NH₄⁺ (2x) steigt [aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre] auf. F I

Zooplankton ernährt **Phytoplankton**. F I

Phytoplankton braucht **O₂**. F I

Die Sprungschicht hindert **CO₂** [der unteren Wasserschicht] am Austausch mit **O₂** [der oberen Wasserschicht]. F II

CO₂ (2x) [ist in Atmosphäre] mehr als [im Wasserkörper]. F III

Pyknokline verhindert Wasseraustausch zwischen **Epipelagial** und Mesopelagial. F III

Schritt 2:

Referenznetz basierte Auswahl von Relationen (HEHE)

Folgende Relationen werden nicht ausgewählt:

- **O₂** (2x)-Konzentration [ist in der Atmosphäre] größer als [im Wasserkörper]. I
- **O₂** (2x) [ist in Atmosphäre] mehr als [im Wasserkörper]. III
- **O₂** (2x) [-Konzentration unterhalb der Pyknokline] weniger als [oberhalb]. III
- **CO₂** (2x) [-Konzentration unterhalb der Pyknokline] mehr als [oberhalb]. III
- **Licht** (2x) [ist oberhalb der Pyknokline] mehr als [unterhalb]. III
- Die Sprungschicht hindert **O₂** [unter Sprungschicht] am Konzentrationsausgleich mit **O₂** [über der Sprungschicht]. II
- Die Sprungschicht hindert **CO₂** [der unteren Wasserschicht] am Austausch mit **O₂** [der oberen Wasserschicht]. F II
- **CO₂** (2x) [ist in Atmosphäre] mehr als [im Wasserkörper]. F III
- **Pyknokline** verhindert Wasseraustausch zwischen **Epipelagial** und Mesopelagial. F III

Schritt 2.1: Zusammenfassung von Relationen (HEHE)

CO₂ [aus der Atmosphäre] gleicht Konzentration [an] **CO₂** [im Wasser] aus. II

CO₂ [aus Wasser] gleicht Konzentration [an] **CO₂** [in Atmosphäre] aus. II

Zusammenfassung: **CO₂** [aus der Atmosphäre] gleicht Konzentration [an] **CO₂** [im Wasser] aus [und umgekehrt]. II

O₂ [der Atmosphäre] gleicht Konzentration [von] **O₂** [des Wasserkörpers] aus. II

O₂ [des Wassers] gleicht Konzentration **O₂** [der Atmosphäre] aus. II

Zusammenfassung: **O₂** [der Atmosphäre] gleicht Konzentration [von] **O₂** [des Wasserkörpers] aus [und umgekehrt]. II

Fische brauchen **O₂**. I

Fische atmen **O₂** ein. II, III

Zusammenfassung: **Fische** atmen **O₂** ein. I, II, III

Zooplankton ernährt **Fische**. I, III

Fische fressen **Zooplankton**. II

Zusammenfassung: **Fische** fressen **Zooplankton**. I, II, III

Fische fressen **Phytoplankton**. II

Phytoplankton ernährt **Fische**. I

Zusammenfassung: **Fische** fressen **Phytoplankton**. I, II

Zooplankton wird nach dem Tod zu **Sediment**. I, III

Zooplankton stirbt, sinkt ab und wird zu **Sediment**. II

Zusammenfassung: **Zooplankton** stirbt, sinkt ab und wird zu **Sediment**. I, II, III

Phytoplankton stirbt, sinkt ab und wird zu **Sediment**. II

Phytoplankton wird nach dem Tod zu **Sediment**. I, III

Zusammenfassung: **Phytoplankton** stirbt, sinkt ab und wird zu **Sediment**. I, II, III

Fische sterben, sinken ab und werden zu **Sediment**. II, III

Fische werden nach dem Tod zu **Sediment**. I

Zusammenfassung: **Fische** sterben, sinken ab und werden zu **Sediment**. I, II, III

Bakterien setzen dabei (bei der Zersetzung des Sediments) NH_4^+ frei. I

Bakterien zersetzen NH_4^+ . III

Zusammenfassung: **Bakterien** setzen dabei (bei der Zersetzung des Sediments) NH_4^+ frei.
I, III

Sediment besteht unter anderem aus **organ. N-Verbindungen**. I, III

Sediment enthält **organ. N-Verbindungen**. II

Zusammenfassung: **Sediment** enthält **organ. N-Verbindungen**. I, II, III

Schritt 2.2: Auflistung der Begriffe und Relationen

Tabelle 42: Auflistung der Begriffe der transkribierten Concept Maps des Probanden HEHE

Die Dokumentation der Begriffe (Knoten, KNO) erfolgt unter Angabe des Vorkommens in den Messzeitpunkten (I.-III.). Die Anzahl der Häkchen repräsentiert die Häufigkeit des jeweiligen Begriffs in dem Concept Map.

Begriff	I.	II.	III.
Licht	√√	√√	√
Fische	√	√	√
Bakterien	√	√	√
NO_3^-	√√	√	√
O_2	√√	√√	√
Organ. N-Verbindungen	√	√	√
NH_4^+	√√	√	√
CO_2	√√	√√	√
Zooplankton	√	√	√
Phytoplankton	√	√	√
Sediment	√	√	√

Tabelle 43: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel (s. Bewertungsschema für IS) des Probanden HEHE

Relationen	I	II	III	Punkte	Regel
Licht (2x) dringt ins Wasser ein.	✓	✓		1	1.2
Phytoplankton braucht zur Fotosynthese Licht.		✓	✓	3	3.1
Phytoplankton nimmt NO_3^- auf.			✓	3	3.1
CO_2 (2x) steigt [aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre] auf.	✓			2	2.2
CO_2 [aus der Atmosphäre] gleicht Konzentration [an] CO_2 [im Wasser] aus [und umgekehrt].		✓		3	3.1
O_2 (2x) steigt teilweise auf [aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre].	✓			2	2.2
O_2 [der Atmosphäre] gleicht Konzentration [von] O_2 [des Wasserkörpers] aus [und umgekehrt].		✓		3	3.1
Phytoplankton braucht zur Zellatmung O_2 .		✓	✓	3	3.1 & N5
Phytoplankton produziert durch Fotosynthese O_2 .		✓	✓	3	3.1
Fische atmen O_2 ein.	✓	✓	✓	3	3.1
Zooplankton atmet O_2 ein.		✓	✓	3	3.1
Phytoplankton braucht zur Fotosynthese CO_2 .		✓	✓	3	3.1
Phytoplankton produziert durch Zellatmung CO_2 .		✓	✓	3	3.1 & N5
Zooplankton atmet CO_2 aus.		✓	✓	3	3.1
Fische atmen CO_2 aus.		✓	✓	3	3.1
Bakterien atmen CO_2 aus.		✓		1	1.1 & 1.2
Bakterien atmen O_2 ein.		✓		1	1.1 & 1.2
Fische scheiden NH_4^+ aus.			✓	3	3.3
Fische fressen Zooplankton.	✓	✓	✓	3	3.1
Fische fressen Phytoplankton.	✓	✓		3	3.1
Phytoplankton [ist] Nahrung für Zooplankton.			✓	3	3.1
Zooplankton stirbt, sinkt ab und wird zu Sediment.	✓	✓	✓	3	3.2 & N4
Phytoplankton stirbt, sinkt ab und wird zu Sediment.	✓	✓	✓	3	3.2 & N4
Fische sterben, sinken ab und werden zu Sediment.	✓	✓	✓	3	3.2 & N4
Sediment wird zersetzt durch Bakterien.	✓			3	3.2 & N1
Bakterien setzen dabei (bei der Zersetzung des Sediments) NO_3^- frei.	✓			2	2.1
Bakterien setzen dabei (bei der Zersetzung des Sediments) NH_4^+ frei.	✓		✓	3	3.1
Bakterien setzen dabei (bei der Zersetzung des Sediments) CO_2 frei.	✓			1	1.2
Sediment wird zersetzt zu CO_2 . Anmerkung: Diese Proposition wird nicht aufgenommen (Dopplung).					
Sediment enthält organ. N-Verbindungen.	✓	✓	✓	3	3.2
Organ. N-Verbindungen werden zersetzt zu NO_3^- .		✓		2	2.1
Organ. N-Verbindungen werden zersetzt zu NH_4^+ .		✓		3	3.2
Bakterien zersetzen organ. N-Verbindungen.		✓	✓	3	3.1
Bakterien produzieren NO_3^- .			✓	2	2.1
NO_3^- (2x) steigt [aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre] auf.	✓			0	0.1
Licht sorgt für Wachstum [von] Zooplankton.	✓			0	0.2
Zooplankton gibt O_2 frei.	✓			0	0.1

Fortsetzung der Tabelle 43

Relationen	I	II	III	Punkte	Regel
Zooplankton braucht CO ₂ .	√			0	0.1
NH ₄ ⁺ (2x) steigt [aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre] auf.	√			0	0.1
Zooplankton ernährt Phytoplankton.	√			0	0.1
Phytoplankton braucht O ₂ .	√			1	1.1 & N5
Individueller Summenscore	36	62	59		
0 Punkte	6	0	0		
1 Punkt	3	3	0		
2 Punkte	3	1	1		
3 Punkte	9	19	19		

Schritt 2.3:

Beschriftungen sammeln, zusammenfassen und codieren

Beschriftungen mit Nummern (Synonymen):

Nimmt ... auf

atmen ... ein

Zusammenfassung: nimmt ... auf

Tabelle 44: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps

Synonyme (Zahlencodes) repräsentieren in den transkribierten CM die Beschriftungen der Verknüpfungen (Pfeile); F, fachwissenschaftlich falsche Kante.

Synonym	Beschriftung der Verknüpfung
1	dringt ins Wasser ein
2	braucht zur Fotosynthese
3	nimmt/ nehmen ... auf
4	steigt [aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre] auf
5	[aus der Atmosphäre] gleicht Konzentration [an] ... [im Wasser] aus [und umgekehrt]
6	steigt teilweise auf [aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre]
7	braucht zur Zellatmung
8	produziert durch Fotosynthese
9	produziert durch Zellatmung
10	atmet/ atmen ... aus
11	scheiden ... aus
12	fressen
13	[ist] Nahrung für
14	stirbt/sterben, sinkt/ sinken ab und wird/werden zu
15	wird zersetzt durch
16	setzen dabei (bei der Zersetzung des Sediments bzw. der organ. N-Verbindungen) ... frei
17	wird/ werden zersetzt zu
18	enthält
19	produzieren
20	zersetzen
21	steigt [aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre] auf (F)
22	sorgt für Wachstum [von] (F)
23	gibt ... frei (F)
24	braucht (F)
25	ernährt (F)

Schritt 3:

Erstellen der transkribierten Concept Maps (HEHE)

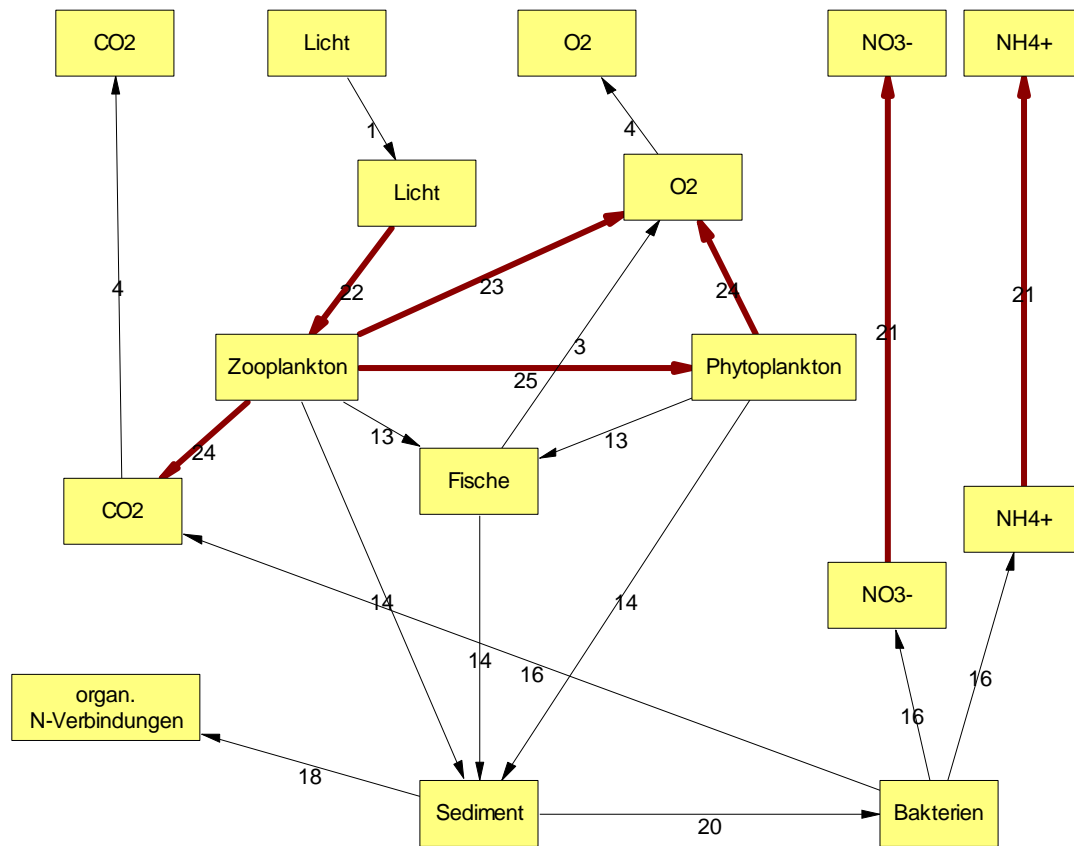


Abb. 49: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler HEHE (MZP I)

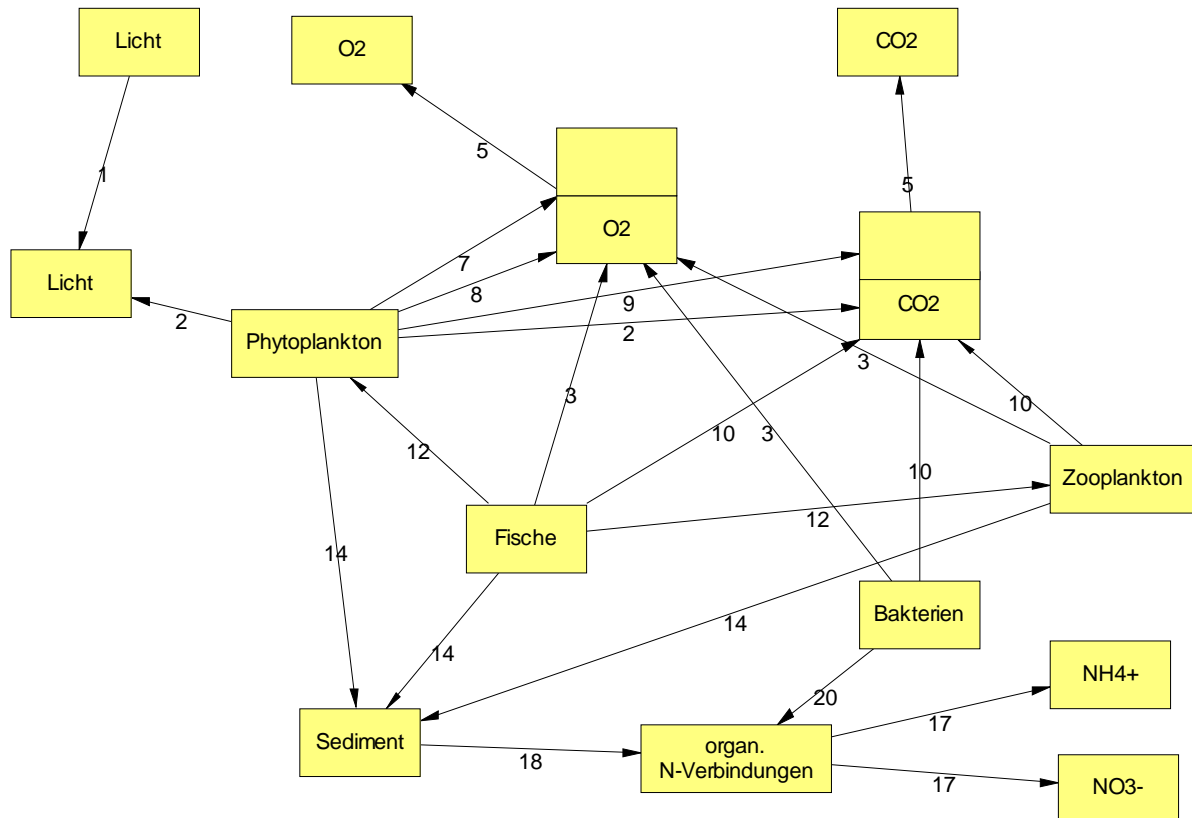


Abb. 50: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler HEHE (MZIP II)

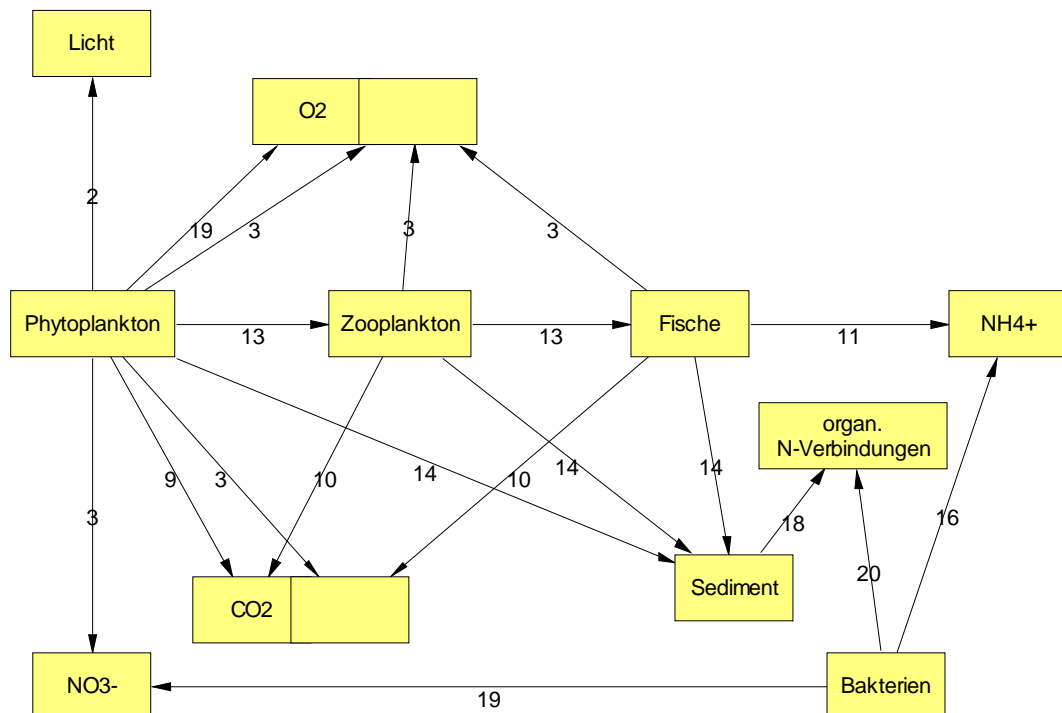


Abb. 51: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler HEHE (MZIP III)

Anmerkung: In den Abbildungen finden sich Doppelkästchen, die jeweils als ein Kästchen zu interpretieren sind. Dies ergab sich Software bedingt, da die Software keine Hin- und Rückpfeile zwischen zwei Begriffen zuließ.

Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (HEHE)

	I	II	III
Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser:			
CO ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.		x	
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre	x		
O ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.		x	
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre	x		
Fotosynthese und Nährstoffe:			
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.		x	x
Licht wird vom Phytoplankton [für Fotosynthese] aufgenommen.		x	x
Phytoplankton nimmt CO ₂ auf.		x	x
Phytoplankton gibt O ₂ ab.		x	x
Phytoplankton nimmt Nährstoffe auf. (hier sind alle Nährstoffe gemeint, außer NO ₃ ⁻ und NH ₄ ⁺)			
NO ₃ ⁻ wird von Phytoplankton aufgenommen.			x
NH ₄ ⁺ wird von Phytoplankton aufgenommen.			
Respiration des Phytoplanktons:			
Phytoplankton nimmt O ₂ auf.		x	x
Phytoplankton gibt CO ₂ ab.		x	x
Dissimilation (Respiration) heterotropher Lebewesen:			
Zooplankton nimmt O ₂ auf.		x	x
Zooplankton gibt CO ₂ ab.		x	x
Fische nehmen O ₂ auf.	x	x	x
Fische geben CO ₂ ab.		x	x
Einfache Nahrungskette:			
Phytoplankton wird von Zooplankton gefressen.			x
Zooplankton wird von Fischen gefressen.	x	x	x
Phytoplankton wird von Fischen gefressen.	x	x	
Nach dem Absterben von Lebewesen sinken die toten Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen ab ins Sediment.	x	x	x
Mikrobielle Schleife:			
Bakterien können dem Zooplankton als Nahrung dienen.			

VII. Anhang - Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler HEHE

Fortsetzung der Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (HEHE)

	I	II	III
Nährstoffkreislauf:			
Destruenten (Bakterien) zersetzen organ. Stoffe ¹ .	x	x	x
¹ Organ. Stoffe sind tote Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen	x		
¹ Organ. Stoffe sind organ. N-Verbindungen ²		x	x
² Organ. N-Verbindungen sind Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen.		x	x
Über die Zersetzung organ. Stoffe durch Destruenten (Bakterien) werden Nährstoffe freigesetzt.	x	x	x
Nährstoffe sind:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH_4^+	x	x	x
NO_3^-	x	x	x
Folgende von den bakteriell abgebauten Nährstoffen werden vom Phytoplankton aufgenommen:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH_4^+			
NO_3^-			x
Nitrifikation:			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH_4^+ -Ionen bzw. NO_3^- -Ionen freigesetzt.	x	x	x
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH_4^+ Ionen freigesetzt.			
Bakterien können aus NH_4^+ NO_3^- bilden.			
Bestimmte Bakterien (Nitritbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus NH_4^+ Nitrit (NO_2^-).			
Bestimmte Bakterien (Nitratbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus Nitrit Nitrat (NO_3^-).			

Zusätzlich:

Fische scheiden NH_4^+ aus. MZP III

Fachwissenschaftlich falsche Kanten und Korrektur (HEHE)

MZP I	MZP II	MZP III
1: Zooplankton braucht CO ₂ .	Korrigiert in: Zooplankton atmet CO ₂ aus.	
2: Licht sorgt für Wachstum von Zooplankton.	Korrigiert in: Phytoplankton braucht Licht für Fotosynthese.	
3: Zooplankton gibt O ₂ frei.	Korrigiert in: Zooplankton nimmt O ₂ auf.	
4: Zooplankton ernährt Phytoplankton.		Korrigiert in: Phytoplankton ist Nahrung für Zooplankton.
5: Phytoplankton braucht O ₂ .	Korrigiert in: Phytoplankton produziert durch Fotosynthese O ₂ . Phytoplankton braucht zur Zellatmung O ₂ .	
6: NO ₃ ⁻ steigt aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre auf.	Kommt nicht mehr vor.	
7: NH ₄ ⁺ steigt aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre auf.	Kommt nicht mehr vor.	

VII.6.1.7 Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler INFR

Schritt 1:

Auflistung aller Relationen der Concept Maps (CM) der Messzeitpunkte (I-III) (INFR)

CO₂ (2x) gelangt [aus der Atmosphäre] ins Wasser. II, III
O₂ (2x) [aus der Atmosphäre] gelangt ins Wasser. III
O₂ (2x) gelangt aus dem Wasser in die Atmosphäre. II
Licht (2x) gelangt [aus der Atmosphäre] ins Wasser. III
Licht dringt [aus der Atmosphäre] ins Wasser ein [zu] Phytoplankton. II
Licht setzt Fotosynthese des **Phytoplanktons** in Gang. I
Licht [wird von] **Phytoplankton** zur Fotosynthese benötigt. III
CO₂ wird zur Fotosynthese [von] **Phytoplankton** [aufgenommen]. I, III
CO₂ wird [vom] **Phytoplankton** aufgenommen. II
Phytoplankton gibt **O₂** nach Fotosynthese ab. I
[Anmerkung: direkt an die Atmosphäre]
Phytoplankton [gibt] **O₂** [nach] Fotosynthese [ab]. II
[Anmerkung: in den Wasserkörper]
Phytoplankton gibt **O₂** nach Fotosynthese ab. III
[Anmerkung: in den Wasserkörper]
Phytoplankton dient als Nahrungsmittel [für] **Zooplankton**. I
Phytoplankton dient als Nahrung [für] **Zooplankton**. II
Phytoplankton wird gefressen von **Zooplankton**. III
Zooplankton dient als Nahrungsmittel [für] **Fischen**. I
Zooplankton dient als Nahrung [für] **Fischen**. II
Zooplankton wird gefressen von **Fischen**. III
Bakterien dienen als Nahrung [für] **Zooplankton**. II
Zooplankton nimmt **O₂** auf. I
O₂ wird aufgenommen [von] **Zooplankton**. II
Fische nehmen **O₂** auf. I
O₂ wird [von] **Fischen** aufgenommen. II
Fische geben **CO₂** ab. I
CO₂ wird [von] **Fischen** abgegeben. II
Zooplankton gibt **CO₂** ab. I
CO₂ wird [von] **Zooplankton** abgegeben. II
Abgestorbenes **Phytoplankton** sinkt ab [ins] **Sediment**. I
Phytoplankton sterben ab [und sinken ins] **Sediment**. II
Phytoplankton stirbt ab und sinkt zu Boden [ins] **Sediment**. III
Abgestorbenes **Zooplankton** sinkt ab [ins] **Sediment**. I
Zooplankton stirbt ab und sinkt zu Boden [ins] **Sediment**. III
Fische sterben ab und sinken zu Boden [ins] **Sediment**. III
Abgestorbene **Bakterien** sinken ab ins **Sediment**. I
Bakterien sterben [und sinken ab ins] **Sediment**. II
NO₃⁻ wird [von] **Phytoplankton** aufgenommen. II, III
Organ. N-Verbindungen werden [von] **Destruenten** aufgenommen. III
Destruenten zersetzen [organ. N-Verbindungen] in **NH₄⁺**. III
NH₄⁺ wird von **Bakterien** aufgenommen. II,III

Fachwissenschaftlich falsche Relationen:

Bakterien dienen als Nahrung [für] **Phytoplankton**. F II
Sediment gibt **NH₄⁺** ab. F I
Organ. N-Verbindungen werden [von] **Phytoplankton** freigegeben. F I
Sediment setzt **organ. N-Verbindungen** frei. F II
Sediment gibt **organ. N-Verbindungen** ab. F III
Organ. N-Verbindungen setzen **NH₄⁺** frei. F II

Schritt 2:

Referenznetz basierte Auswahl von Relationen (INFR)

Es werden alle Relationen ausgewählt.

Schritt 2.1: Zusammenfassung von Relationen (INFR)

Folgende Relationen werden zusammen gefasst:

- **Licht** setzt Fotosynthese des **Phytoplanktons** in Gang. I
- **Licht** dringt [aus der Atmosphäre] ins Wasser ein [zu] **Phytoplankton**. II
- **Licht** [wird von] **Phytoplankton** zur Fotosynthese benötigt. III

Zusammenfassung: **Licht** [wird] zur Fotosynthese [von] **Phytoplankton** genutzt. I, II, III

- **CO₂** wird zur Fotosynthese [von] **Phytoplankton** [aufgenommen]. I, III
- **CO₂** wird [vom] **Phytoplankton** aufgenommen. II

Zusammenfassung: **CO₂** wird zur Fotosynthese [von] **Phytoplankton** [aufgenommen]. I, III

- **Phytoplankton** [gibt] **O₂** [nach] Fotosynthese [ab]. II
[Anmerkung: in den Wasserkörper]
- **Phytoplankton** gibt **O₂** nach Fotosynthese ab. III

Zusammenfassung: **Phytoplankton** [gibt] **O₂** [nach] Fotosynthese [ab]. II, III
[Anmerkung: in den Wasserkörper]

- **Phytoplankton** dient als Nahrungsmittel [für] **Zooplankton**. I
- **Phytoplankton** dient als Nahrung [für] **Zooplankton**. II
- **Phytoplankton** wird gefressen von **Zooplankton**. III

Zusammenfassung: **Phytoplankton** wird gefressen von **Zooplankton**. I, II, III

- **Zooplankton** dient als Nahrungsmittel [für] **Fischen**. I
- **Zooplankton** dient als Nahrung [für] **Fischen** II
- **Zooplankton** wird gefressen von **Fischen**. III

Zusammenfassung: **Zooplankton** wird gefressen von **Fischen**. III

- **Zooplankton** nimmt **O₂** auf. I
- **O₂** wird aufgenommen [von] **Zooplankton**. II

Zusammenfassung: **O₂** wird aufgenommen [von] **Zooplankton**. I, II

- **Fische** nehmen **O₂** auf. I
- **O₂** wird [von] **Fischen** aufgenommen. II

Zusammenfassung: **O₂** wird [von] **Fischen** aufgenommen. I, II

- **Fische** geben **CO₂** ab. I
- **CO₂** wird [von] **Fischen** abgegeben. II

Zusammenfassung: **CO₂** wird [von] **Fischen** abgegeben. I, II

- **Zooplankton** gibt **CO₂** ab. I
- **CO₂** wird [von] **Zooplankton** abgegeben. II

Zusammenfassung: **CO₂** wird [von] **Zooplankton** abgegeben. I, II

- Abgestorbenes **Phytoplankton** sinkt ab [ins] **Sediment**. I
- **Phytoplankton** sterben ab [und sinken ins] **Sediment**. II
- **Phytoplankton** stirbt ab und sinkt zu Boden [ins] **Sediment**. III

Zusammenfassung: **Phytoplankton** stirbt ab und sinkt zu Boden [ins] **Sediment**. I, II, III

- Abgestorbenes **Zooplankton** sinkt ab [ins] **Sediment**. I
- **Zooplankton** stirbt ab und sinkt zu Boden [ins] **Sediment**. III
- **Fische** sterben ab und sinken zu Boden [ins] **Sediment**. III

Zusammenfassung: **Fische** sterben ab und sinken zu Boden [ins] **Sediment**. I, II, III

- Abgestorbene **Bakterien** sinken ab ins **Sediment**. I
- **Bakterien** sterben [und sinken ab ins] **Sediment**. II

Zusammenfassung: **Bakterien** sterben [und sinken ab ins] **Sediment**. I, II

- **Organ. N-Verbindungen** werden [von] **Phytoplankton** freigegeben. F I
- **Sediment** setzt **organ. N-Verbindungen** frei. F II
- **Sediment** gibt **organ. N-Verbindungen** ab. F III

Zusammenfassung: Sediment gibt organ. N-Verbindungen ab. F I, II, III

Schritt 2.2: Auflistung der Begriffe und Relationen

Tabelle 45: Auflistung der Begriffe der transkribierten Concept Maps des Probanden INFR

Die Dokumentation der Begriffe (Knoten, KNO) erfolgt unter Angabe des Vorkommens in den Messzeitpunkten (I.-III.). Die Anzahl der Häkchen repräsentiert die Häufigkeit des jeweiligen Begriffs in dem Concept Map.

Begriff	I.	II.	III.
CO ₂	√√	√√√	√√
Licht	√	√	√√
O ₂	√√	√√	√√
Phytoplankton	√	√	√
Zooplankton	√	√	√
Fische	√	√	√
Bakterien	√	√	√
NH ₄ ⁺	√	√	√
Sediment	√√	√	√
Organ. N-Verbindungen	√	√	√
Destruenten			√
NO ₃ ⁻		√	√

Tabelle 46: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel (s. Bewertungsschema für IS) des Probanden INFR

Nr. Relation	I.	II.	III.	Punkte	Regel
CO ₂ (2x) gelangt [aus der Atmosphäre] ins Wasser.		√	√	2	2.1
O ₂ (2x) [aus der Atmosphäre] gelangt ins Wasser.			√	2	2.1
O ₂ (2x) gelangt aus dem Wasser in die Atmosphäre.		√		2	2.1
Licht (2x) gelangt [aus der Atmosphäre] ins Wasser.			√	0	0.2
Licht [wird von] Phytoplankton zur Fotosynthese benötigt.	√	√	√	3	3.1
CO ₂ wird zur Fotosynthese [von] Phytoplankton [aufgenommen].	√	√	√	3	3.1
Phytoplankton gibt O ₂ nach Fotosynthese ab. [Anmerkung: direkt an die Atmosphäre]	√			3	3.1
Phytoplankton gibt O ₂ nach Fotosynthese ab. [Anmerkung: in den Wasserkörper]		√	√	3	3.1
Phytoplankton wird gefressen von Zooplankton.	√	√	√	3	3.1
Zooplankton wird gefressen von Fischen.	√	√	√	3	3.1
Bakterien dienen als Nahrung [für] Phytoplankton.		√		0	0.1
Bakterien dienen als Nahrung [für] Zooplankton.		√		3	3.1
O ₂ wird aufgenommen [von] Zooplankton.	√	√		3	3.1
O ₂ wird [von] Fischen aufgenommen.	√	√		3	3.1
CO ₂ wird [von] Fischen abgegeben.	√	√		3	3.1
CO ₂ wird [von] Zooplankton abgegeben.	√	√		3	3.1
Phytoplankton stirbt ab und sinkt zu Boden [ins] Sediment.	√	√	√	3	3.1 & N4
Zooplankton stirbt ab und sinkt zu Boden [ins] Sediment.	√		√	3	3.1 & N4
Fische sterben ab und sinken zu Boden [ins] Sediment.			√	3	3.1 & N4
Bakterien sterben ab [und werden zu] Sediment.	√	√		1	1.2
NO ₃ ⁻ wird [von] Phytoplankton aufgenommen.		√	√	3	3.1
Sediment gibt NH ₄ ⁺ ab.	√			0	0.1
Sediment gibt organ. N-Verbindungen ab.	√	√	√	0	0.1
Organ. N-Verbindungen setzen NH ₄ ⁺ frei.		√		0	0.1
Organ. N-Verbindungen werden [von] Destruenten aufgenommen.			√	3	3.1
Destruenten zersetzen [organ. N-Verbindungen] in NH ₄ ⁺ .			√	3	3.1
NH ₄ ⁺ wird von Bakterien aufgenommen.		√	√	3	3.1
Bakterien wandeln NH ₄ ⁺ in NO ₃ ⁻ um.			√	2	2.1
Individueller Summenscore	34	44	42		
0 Punkte	2	3	2		
1 Punkt	1	1	0		
2 Punkte	0	2	3		
3 Punkte	11	13	12		

Schritt 2.3:

Beschriftungen sammeln, zusammenfassen und codieren

Tabelle 47: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps

Synonyme (Zahlencodes) repräsentieren in den transkribierten CM die Beschriftungen der Verknüpfungen (Pfeile); F, fachwissenschaftlich falsche Kante.

Synonym	Beschriftung der Verknüpfung
1	gelangt [aus der Atmosphäre] ins Wasser
2	wird zur Fotosynthese [von] ... [genutzt]
3	wird gefressen von
4	stirbt ab und sinkt zu Boden [ins]
5	dient als Nahrung [für]
6	wird [von] ... aufgenommen
7	wandeln NH_4^+ in ... um
8	wird von ... aufgenommen [um es in NO_3^- umzuwandeln]
9	zersetzen [organ. N-Verbindungen] in ...
10	sterben ab [und werden zu] ...
11	werden [von] ... aufgenommen
12	setzen ... frei
13	gibt ... ab
14	gelangt aus dem Wasser in die Atmosphäre
15	gibt ... nach Fotosynthese ab.
16	wird [von] ... abgegeben
17	gibt ... ab (F)
18	setzen ... frei (F)
19	dient als Nahrung [für] (F)
20	wird von ... aufgenommen

Schritt 3:

Erstellen der transkribierten Concept Maps (INFR)

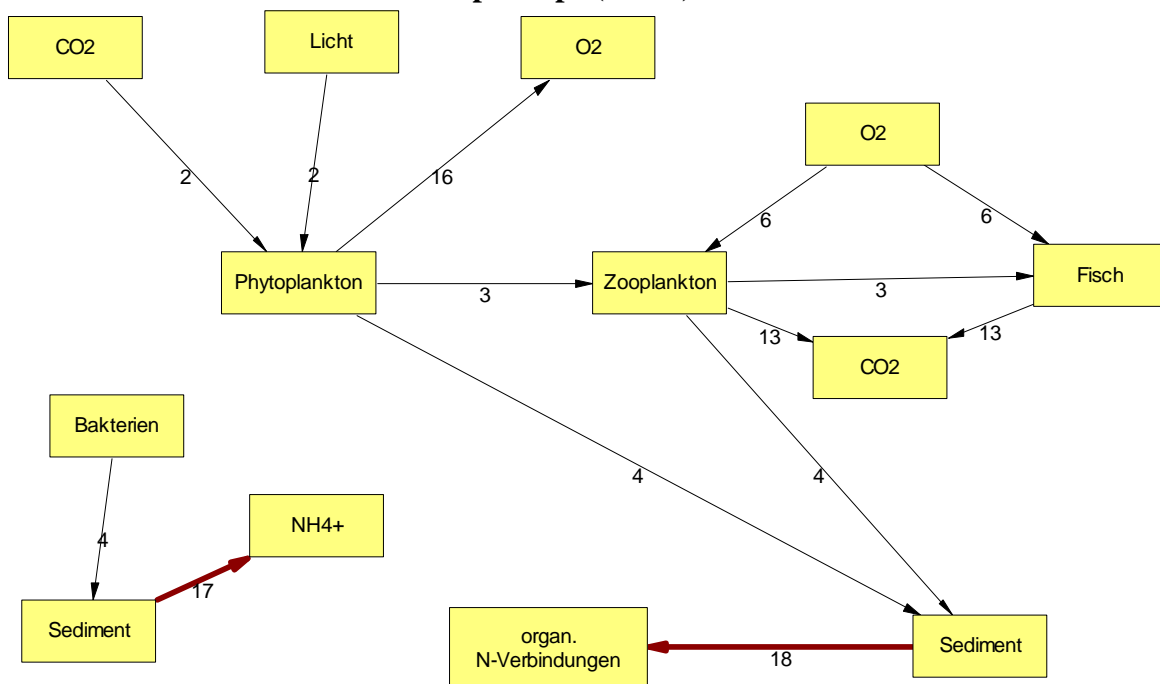


Abb. 52: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler INFR (MZP I)

VII. Anhang - Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler INFR

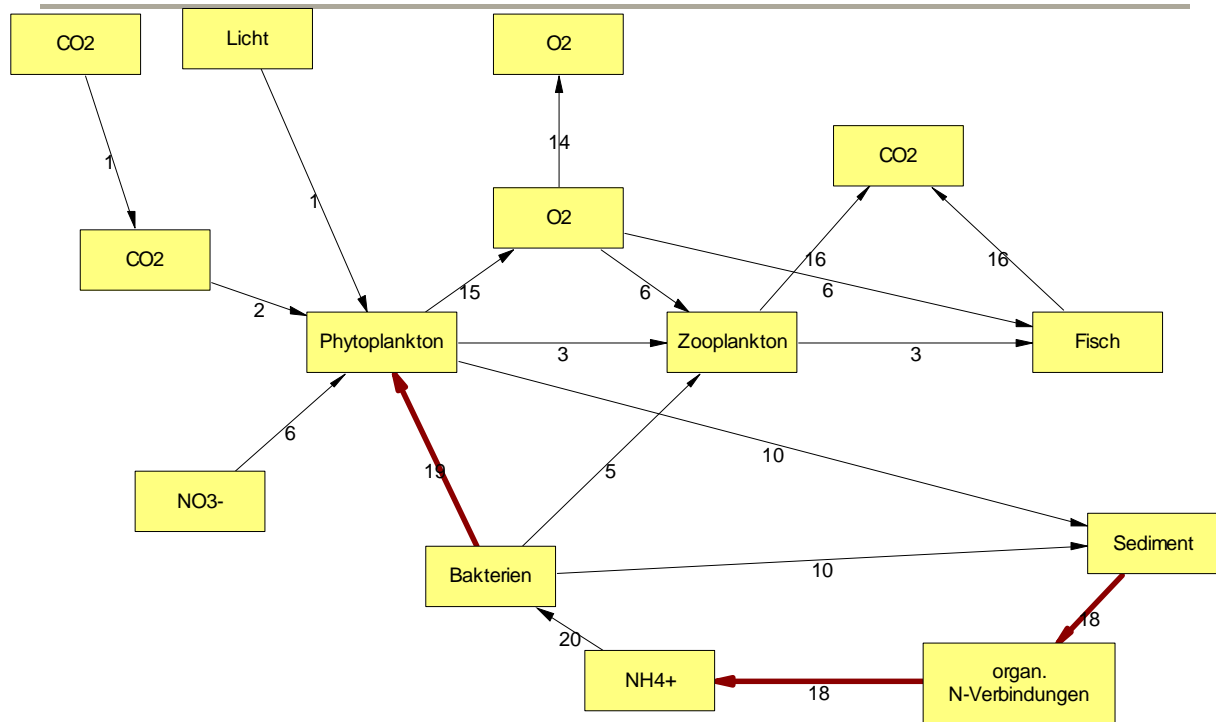


Abb. 53: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler INFR (MZIP II)

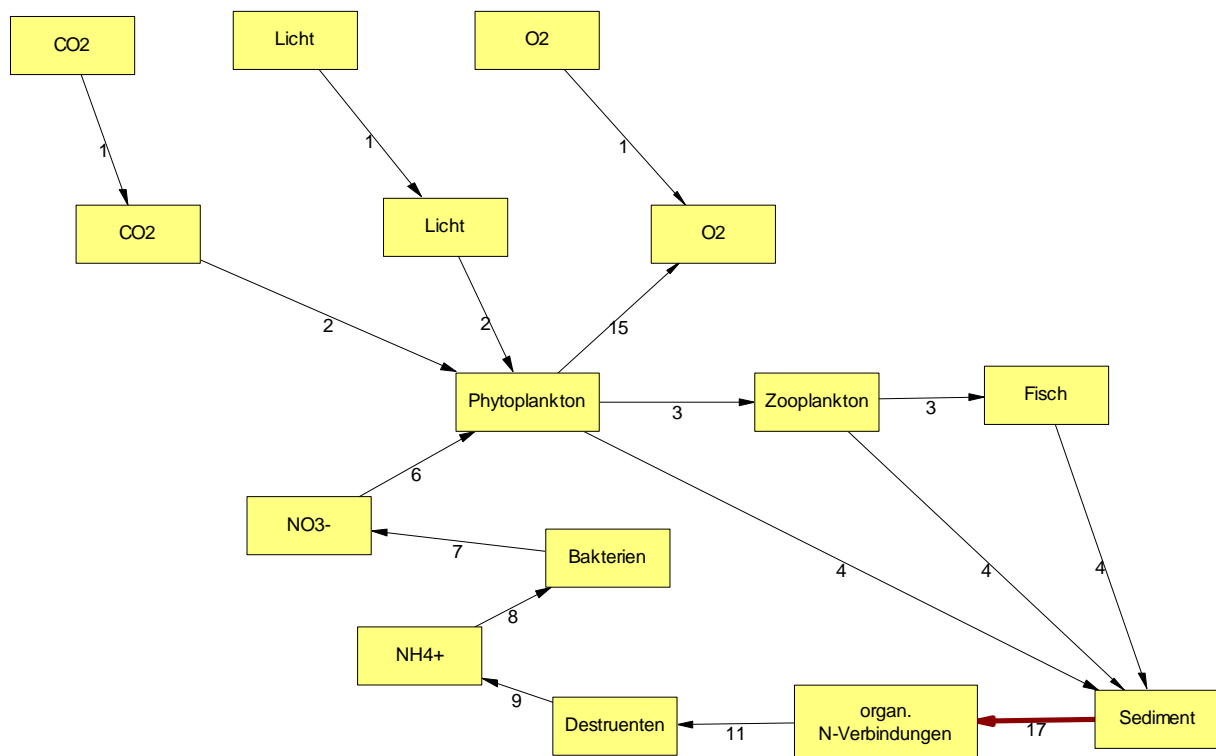


Abb. 54: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler INFR (MZIP III)

Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (INFR)

	I	II	III
Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser:			
CO ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
Nur eine Richtung:			
Richtung: Atmosphäre → Wasser		x	x
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
O ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
Nur eine Richtung:			
Richtung: Atmosphäre → Wasser			x
Richtung: Wasser → Atmosphäre		x	
Fotosynthese und Nährstoffe:			
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.	x	x	x
Licht wird vom Phytoplankton [für Fotosynthese] aufgenommen.	x	x	x
Phytoplankton nimmt CO ₂ auf.	x	x	x
Phytoplankton gibt O ₂ ab.	x	x	x
Phytoplankton nimmt Nährstoffe auf. (hier sind alle Nährstoffe gemeint, außer NO ₃ ⁻ und NH ₄ ⁺)			
NO ₃ ⁻ wird von Phytoplankton aufgenommen.		x	x
NH ₄ ⁺ wird von Phytoplankton aufgenommen.			
Respiration des Phytoplanktons:			
Phytoplankton nimmt O ₂ auf.			
Phytoplankton gibt CO ₂ ab.			
Dissimilation (Respiration) heterotropher Lebewesen:			
Zooplankton nimmt O ₂ auf.	x	x	
Zooplankton gibt CO ₂ ab.	x	x	
Fische nehmen O ₂ auf.	x	x	
Fische geben CO ₂ ab.	x	x	
Einfache Nahrungskette:			
Phytoplankton wird von Zooplankton gefressen.	x	x	x
Zooplankton wird von Fischen gefressen.	x	x	x
Phytoplankton wird von Fischen gefressen.			
Nach dem Absterben von Lebewesen sinken die toten Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen ab ins Sediment.	x	x	x
Mikrobielle Schleife:			
Bakterien können dem Zooplankton als Nahrung dienen.		x (1)	

Fortsetzung der Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (INFR)

	I	II	III
Nährstoffkreislauf:			
Destruenten (Bakterien) zersetzen organ. Stoffe ¹ .			x
¹ Organ. Stoffe sind tote Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen			
¹ Organ. Stoffe sind organ. N-Verbindungen ²			x
² Organ. N-Verbindungen sind Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen.			x
Über die Zersetzung organ. Stoffe durch Destruenten (Bakterien) werden Nährstoffe freigesetzt.			x
Nährstoffe sind:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH_4^+			x
NO_3^-			x
Folgende von den bakteriell abgebauten Nährstoffen werden vom Phytoplankton aufgenommen:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH_4^+			
NO_3^-			x
Nitrifikation:			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH_4^+ -Ionen bzw. NO_3^- -Ionen freigesetzt.			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH_4^+ Ionen freigesetzt.			x
Bakterien können aus NH_4^+ NO_3^- bilden.			x
Bestimmte Bakterien (Nitritbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus NH_4^+ Nitrit (NO_2^-).			
Bestimmte Bakterien (Nitratbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus Nitrit Nitrat (NO_3^-).			

Anmerkungen:

(1) In dem Original-Concept-Map ist allerdings darüber hinaus auch dargestellt, dass Bakterien dem Phytoplankton als Nahrung dienen.

Zusatz:

MZP II: Bakterien nehmen NH_4^+ auf. Dann folgt allerdings eine falsche Kante dazu, dass Bakterien dem Phytoplankton als Nahrung dienen.

Fachwissenschaftlich falsche Kanten und Korrektur (INFR)

MZP I	MZP II	MZP III
1: Bakterien – Sediment – NH_4^+ Hier wird dargestellt, dass Bakterien nach dem Absterben ins Sediment absinken und das Sediment dann NH_4^+ abgibt. Der Sachverhalt bleibt separiert als einzelne Komponente.	Die Komponente wird integriert, allerdings noch falsch, s. Nummer 2-3	
2: Das Sediment setzt organ. N-Verbindungen frei. Anmerkung: Dem Probanden ist noch nicht klar, dass abgestorbene Organismen organ. N-Verbindungen sind.	Das Sediment setzt organ. N-Verbindungen frei.	Bleibt bestehen.
	3: Organ. N-Verbindungen setzen NH_4^+ frei.	Korrigiert in: Organ. N-Verbindungen werden von Destruenten aufgenommen. Destruenten zersetzen diese dann in NH_4^+ .
	4: Bakterien sind Nahrung für Phytoplankton.	Korrigiert in: NH_4^+ wird von Bakterien aufgenommen und in NO_3^- umgewandelt. NO_3^- wird von Phytoplankton aufgenommen.

VII.6.1.8 Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler KIUW

Schritt 1:

Auflistung aller Relationen der Concept Maps (CM) der Messzeitpunkte (I-III) (KIUW)

Zusätzliche Überdüngung mit Nitraten etc. [durch den] **Mensch** [gelangen ins] **Sediment**. I

NH_4^+ wird [von] **Phytoplankton** weiterverarbeitet. I

NO_3^- wird weiterverarbeitet [von] **Phytoplankton**. I

NO_3^- [wird] benötigt [von] **Phytoplankton**. III

Licht [ist] Quelle für Fotosynthese [des] **Phytoplankton**. I, II, III

CO_2 wird für Assimilation von **Phytoplankton** benötigt. I, II, III

O_2 [ist] Ausscheidungsprodukt nach Assimilation [von] **Phytoplankton**. I, II, III

NO_3^- wird benötigt [von] **Phytoplankton**. II

NH_4^+ wird benötigt [von] **Phytoplankton**. II

Phytoplankton baut **organ. N-Verbindungen** auf. II

Phytoplankton stirbt ab [und wird zu] **organ. N-Verbindungen**. III

Organ. N-Verbindungen [sind] Lebensgrundlage [für] **Zooplankton**. I

Phytoplankton wird von **Zooplankton** gefressen. II, III

Zooplankton [ist] Nahrungsgrundbedarf [von] **Fischen**. I, II, III

Fische [sind] Nahrung für **Mensch**. I

O_2 wird benötigt für Dissimilation [von] **Zooplankton**. I, II

O_2 wird benötigt für Dissimilation [von] **Fischen**. I, II, III

CO_2 [ist] Ausscheidungsprodukt nach Dissimilation [von] **Fischen**. I, II, III

Zooplankton gibt CO_2 ab. II, III

Fische scheiden NH_4^+ aus. III

Bakterien leben auf **Sediment**. II, III

Bakterien atmen O_2 [ein]. III

Bakterien setzen CO_2 frei. III

Organ. N-Verbindungen werden zersetzt von **Bakterien**. III

Bakterien zersetzen organ. Stoffe zu anorganischen, wie NH_4^+ und NO_3^- . II

Bakterien zersetzen organ. Stoffe zu anorganischen, wie NH_4^+ und NO_3^- . II

Bakterien setzen NH_4^+ um. III

Bakterien setzen NH_4^+ um zu NO_3^- . III

Fachwissenschaftlich falsche Relationen:

Sediment enthält NO_3^- . F I

Sediment enthält NH_4^+ . F I

Pyknokline wird weiterverarbeitet [von] **Phytoplankton**. F I

Phytoplankton verarbeitet aus Mineralien **organ. N-Verbindungen**. F I

Organ. N-Verbindungen enthalten **Bakterien**. F I

Zooplankton wird phagozytiert [von] **Bakterien**. F I

Schritt 2:**Referenznetz basierte Auswahl von Relationen (KIUW)**

Folgende Relation wird nicht ausgewählt:

- **Pyknokline** wird weiterverarbeitet [von] **Phytoplankton**. F I

Schritt 2.1: Zusammenfassung von Relationen (KIUW)

NO_3^- wird weiterverarbeitet [von] **Phytoplankton**. I

NO_3^- [wird] benötigt [von] **Phytoplankton**. III

Zusammenfassung: NO_3^- [wird] benötigt [von] **Phytoplankton**. III

Schritt 2.2: Auflistung der Begriffe und Relationen**Tabelle 48: Auflistung der Begriffe der transkribierten Concept Maps des Probanden KIUW**

Die Dokumentation der Begriffe (Knoten, KNO) erfolgt unter Angabe des Vorkommens in den Messzeitpunkten (I.-III.). Die Anzahl der Häkchen repräsentiert die Häufigkeit des jeweiligen Begriffs in dem Concept Map.

Begriff	I.	II.	III.
Mensch	√		
Sediment	√	√	√
NH_4^+	√	√	√
Phytoplankton	√	√	√
NO_3^-	√	√	√
CO_2	√	√	√
O_2	√	√	√
Fische	√	√	√
Organ. N-Verbindungen	√	√	√
Zooplankton	√	√	√
Bakterien	√	√	√
Licht	√	√	√

Tabelle 49: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) des Probanden KIUW

Relation	I.	II.	III.	Punkte	Regel
Zusätzliche Überdüngung mit Nitraten etc.[durch den] Mensch [gelangen ins] Sediment.	√			2	2.2 & N2
NH_4^+ wird [von] Phytoplankton weiterverarbeitet.	√	√		3	3.1 & N2
NO_3^- wird [von] Phytoplankton weiterverarbeitet.	√			3	3.1
NO_3^- [wird] benötigt [von] Phytoplankton.		√	√	3	3.1
Licht [ist] Quelle für Fotosynthese [des] Phytoplankton.	√	√	√	3	3.1
CO_2 wird für Assimilation von Phytoplankton benötigt.	√	√	√	3	3.1
O_2 [ist] Ausscheidungsprodukt nach Assimilation [von] Phytoplankton.	√	√	√	3	3.1
Phytoplankton baut organ. N-Verbindungen auf.		√		3	3.1
Phytoplankton stirbt ab [und wird zu] organ. N-Verbindungen.			√	3	3.1

VII. Anhang - Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler KIUW

Fortsetzung der Tabelle 49

Relation	I.	II.	III.	Punkte	Regel
Organ. N-Verbindungen [sind] Lebensgrundlage [für] Zooplankton.	√			3	3.2
Phytoplankton wird von Zooplankton gefressen.		√	√	3	3.1
Zooplankton [ist] Nahrungsgrundbedarf [von] Fischen.	√	√		3	3.1
Fische [sind] Nahrung für Mensch.	√			1	1.2
O ₂ wird benötigt für Dissimilation [von] Zooplankton.	√	√		3	3.1
O ₂ wird benötigt für Dissimilation [von] Fischen.	√	√	√	3	3.1
CO ₂ [ist] Ausscheidungsprodukt nach Dissimilation [von] Fischen.	√	√	√	3	3.1
Zooplankton gibt CO ₂ ab.		√	√	3	3.1
Fische scheiden NH ₄ ⁺ aus.			√	3	3.3
Bakterien leben auf Sediment.		√	√	2	2.1
Bakterien atmen O ₂ [ein].			√	1	1.2 & 1.1
Bakterien setzen CO ₂ frei.			√	1	1.2 & 1.1
Organ. N-Verbindungen werden zersetzt von Bakterien.			√	3	3.1
Bakterien zersetzen organ. Stoffe zu anorganischen, wie NH ₄ ⁺ und NO ₃ ⁻ .		√		3	3.1
Bakterien zersetzen organ. Stoffe zu anorganischen, wie NH ₄ ⁺ und NO ₃ ⁻ . (Anmerkung: diese Relation wird nicht mitgezählt, da sie inhaltlich der Relation davor entspricht.)				entfällt	
Bakterien setzen NH ₄ ⁺ um. III (Anmerkung: Diese Relation wird nicht mitgezählt, weil sie inhaltlich der darunter entspricht)				entfällt	
Bakterien setzen NH ₄ ⁺ um zu NO ₃ ⁻ .			√	2	2.1
Sediment enthält NH ₄ ⁺ .	√			1	1.1
Sediment enthält NO ₃ ⁻ .	√			1	1.1
Phytoplankton verarbeitet aus Mineralien organ. N-Verbindungen.	√			1	1.1
Organ. N-Verbindungen enthalten Bakterien.	√			0	0.1
Zooplankton wird phagozytiert [von] Bakterien.	√			0	0.1
Individueller Summenscore	36	41	39		
0 Punkte	2	0	0		
1 Punkt	4	0	2		
2 Punkte	1	1	2		
3 Punkte	10	13	11		

Schritt 2.3:

Beschriftungen sammeln, zusammenfassen und codieren

Folgende Beschriftungen werden zusammen gefasst:

- wird von ... gefressen
- [ist] Nahrungsbedarf [von]
- [sind] Nahrung für

Zusammenfassung: x [ist/ sind] Nahrung für y

- gibt ... ab
- scheiden ... aus
- setzen ... frei

Zusammenfassung: gibt/ geben ... ab

Tabelle 50: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps

Synonyme (Zahlencodes) repräsentieren in den transkribierten CM die Beschriftungen der Verknüpfungen (Pfeile); F, fachwissenschaftlich falsche Kante.

Synonym	Beschriftung der Verknüpfung
1	zusätzliche Überdüngung mit Nitraten etc. [durch den] ... [gelangt ins] ...
2	enthält
3	wird [von] ... weiterverarbeitet
4	[wird] benötigt [von]
5	[ist] Quelle für Fotosynthese [des]
6	wird für Assimilation von ... benötigt
7	[ist] Ausscheidungsprodukt nach Assimilation [von]
8	baut ... auf
9	stirbt ab [und wird zu]
10	[sind] Lebensgrundlage [für]
11	[ist/ sind] Nahrung für
12	wird benötigt für Dissimilation [von]
13	[ist] Ausscheidungsprodukt nach Dissimilation [von]
14	gibt/ geben ... ab
15	leben auf
16	atmen ... [ein]
17	werden zersetzt von
18	zersetzen organ. Stoffe zu anorganischen, wie ... und NO_3^-
19	zersetzen organ. Stoffe zu anorganischen, wie NH_4^+ und ...
20	setzen NH_4^+ um zu
21	verarbeitet aus Mineralien (F)
22	enthalten (F)
23	wird phagozytiert [von] (F)

Schritt 3:

Erstellen der transkribierten Concept Maps (KIUW)

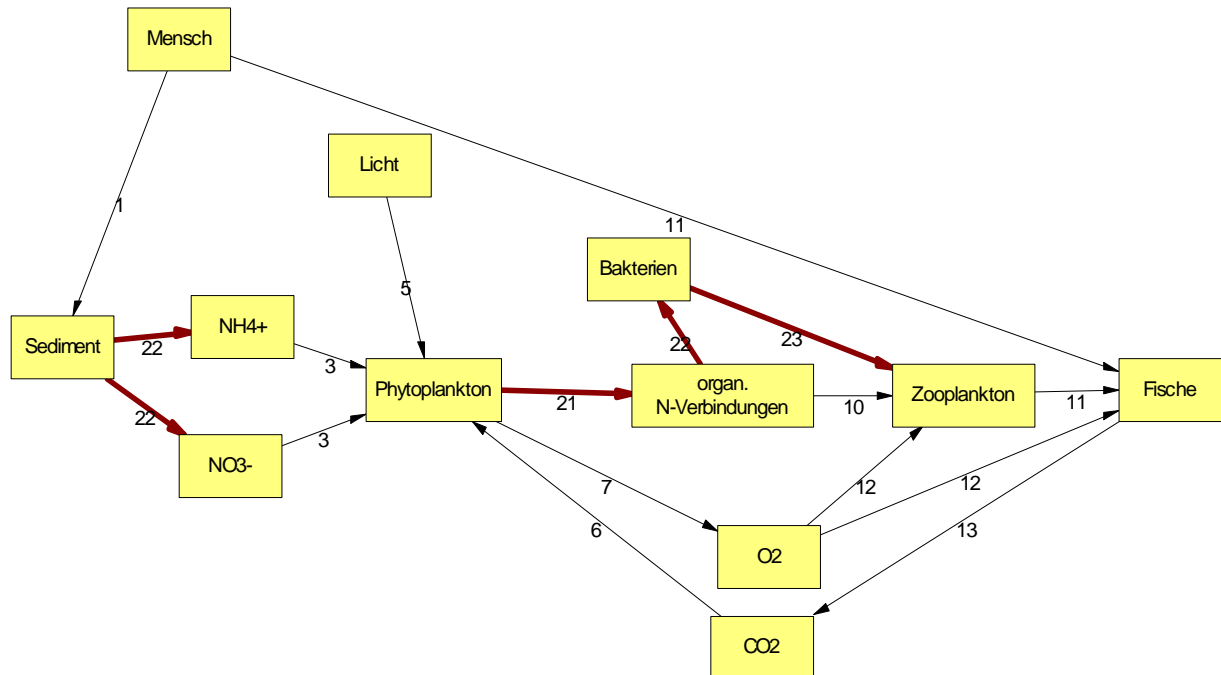


Abb. 55: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler KIUW (MZP I)

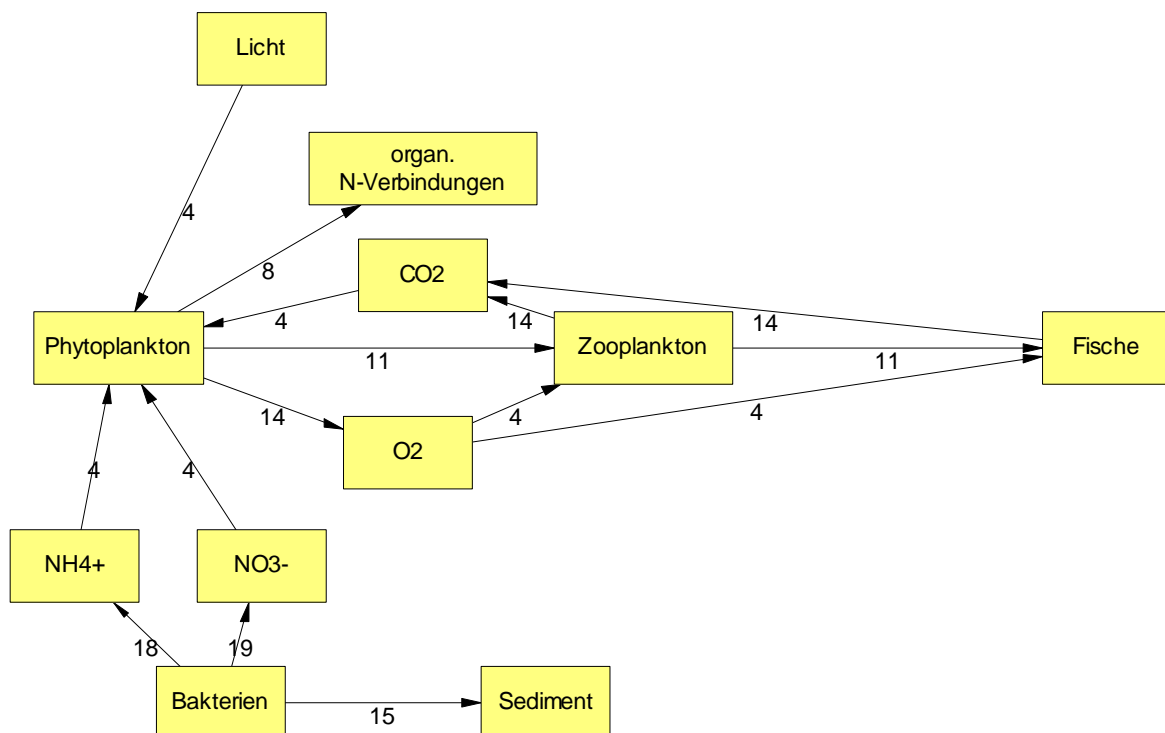


Abb. 56: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler KIUW (MZP II)

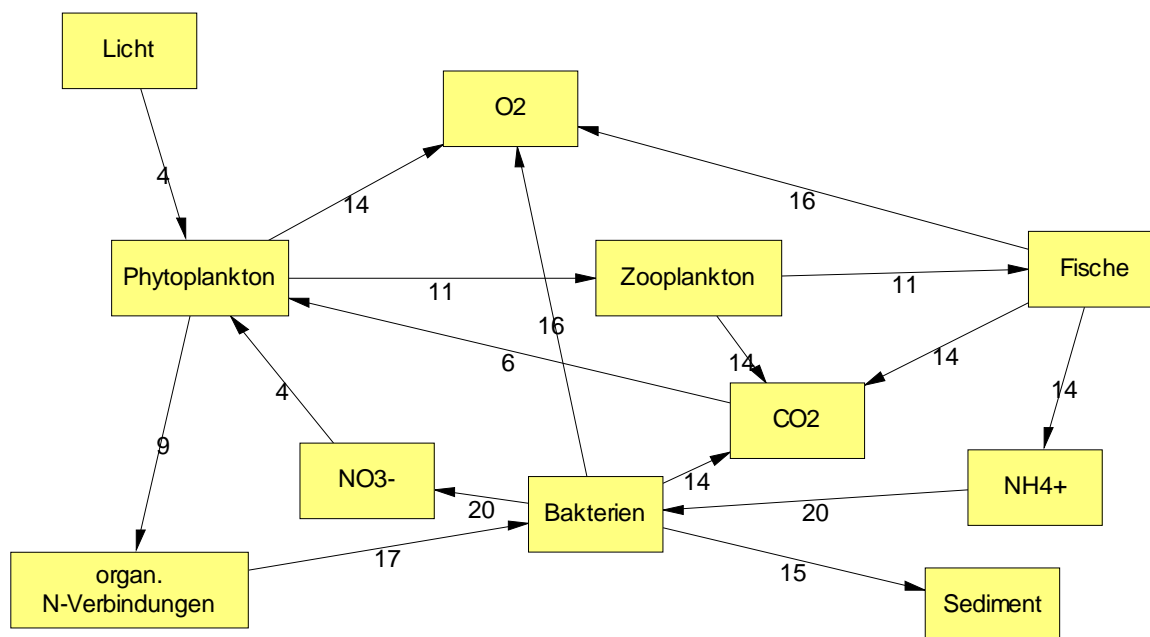


Abb. 57: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler KIUW (MZP III)

Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (KIUW)

	I	II	III
Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser:			
CO ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
O ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
Fotosynthese und Nährstoffe:			
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.	x	x	x
Licht wird vom Phytoplankton [für Fotosynthese] aufgenommen.	x	x	x
Phytoplankton nimmt CO ₂ auf.	x	x	x
Phytoplankton gibt O ₂ ab.	x	x	x
Phytoplankton nimmt Nährstoffe auf. (hier sind alle Nährstoffe gemeint, außer NO ₃ ⁻ und NH ₄ ⁺)			
NO ₃ ⁻ wird von Phytoplankton aufgenommen.	x	x	x
NH ₄ ⁺ wird von Phytoplankton aufgenommen.	x	x	
Respiration des Phytoplanktons:			
Phytoplankton nimmt O ₂ auf.			
Phytoplankton gibt CO ₂ ab.			

VII. Anhang - Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler KIUW

Fortsetzung der Ermittlung der erfassten fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (KIUW)

	I	II	III
Dissimilation (Respiration) heterotropher Lebewesen:			
Zooplankton nimmt O ₂ auf.	x	x	
Zooplankton gibt CO ₂ ab.		x	x
Fische nehmen O ₂ auf.	x	x	x
Fische geben CO ₂ ab.	x	x	x
Einfache Nahrungskette:			
Phytoplankton wird von Zooplankton gefressen.	(1)	x	x
Zooplankton wird von Fischen gefressen.	x	x	x
Phytoplankton wird von Fischen gefressen.			
Nach dem Absterben von Lebewesen sinken die toten Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen ab ins Sediment.			
Mikrobielle Schleife:			
Bakterien können dem Zooplankton als Nahrung dienen.			
Nährstoffkreislauf:			
Destruenten (Bakterien) zersetzen organ. Stoffe ¹ .		x(2)	x
¹ Organ. Stoffe sind tote Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen			
¹ Organ. Stoffe sind organ. N-Verbindungen ²			x
² Organ. N-Verbindungen sind Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen.			x
Über die Zersetzung organ. Stoffe durch Destruenten (Bakterien) werden Nährstoffe freigesetzt.		x	x
Nährstoffe sind:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH ₄ ⁺		x	
NO ₃ ⁻		x	x
Folgende von den bakteriell abgebauten Nährstoffen werden vom Phytoplankton aufgenommen:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH ₄ ⁺		x	
NO ₃ ⁻		x	x
Nitrifikation:			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH ₄ ⁺ -Ionen bzw. NO ₃ ⁻ -Ionen freigesetzt.			(3)
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH ₄ ⁺ Ionen freigesetzt.			
Bakterien können aus NH ₄ ⁺ NO ₃ ⁻ bilden.			x
Bestimmte Bakterien (Nitritbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus NH ₄ ⁺ Nitrit (NO ₂ ⁻).			
Bestimmte Bakterien (Nitratbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus Nitrit Nitrat (NO ₃ ⁻).			

Anmerkungen:

(1) In dem Original-CM ist die Bildung der organ. N-Verbindungen auf das Phytoplankton zurückzuführen (wenn diese Bildung dort auch falsch dargestellt ist!). Die organ. N-Verbindungen sind dann Lebensgrundlage für das Zooplankton.

(2) Aus dem CM geht nicht hervor, was genau mit organ. Stoffen gemeint ist.

(3) In dem Original-CM ist nicht dargestellt, dass aus den organ. N-Verbindungen NH₄⁺ bzw. NO₃⁻ hergestellt werden. Dargestellt ist nur, dass Bakterien organ. N-Verbindungen zersetzen. Außerdem ist dargestellt, dass Fische NH₄⁺ abgeben. Bakterien setzen NH₄⁺ dann in NO₃⁻ um.

Zusatz: Fische geben NH₄⁺ ab. MZP III; Phytoplankton baut organ. N-Verbindungen auf. MZP II

Falsche Kanten und korrigierte falsche Kanten

MZP I	MZP II	MZP III
1: Das Sediment enthält NO_3^- und NH_4^+ . <i>Die Ionen sind nicht einfach so enthalten, sondern werden von Bakterien freigesetzt bzw. gebildet.</i>	Korrigiert in: Bakterien leben auf dem Sediment. Bakterien zersetzen organ. Stoffe zu anorganischen, wie NO_3^- und NH_4^+ .	Weiter präzisiert: NH_4^+ (aus Ausscheidungen von Fischen) wird in NO_3^- von Bakterien umgesetzt.
2: Phytoplankton verarbeitet aus Mineralien organ. N-Verbindungen	Korrigiert in: Phytoplankton baut organ. N-Verbindungen auf.	
3: Organ. N-Verbindungen enthalten Bakterien.		Korrigiert in: Organ. N-Verbindungen [die aus abgestorbenem Phytoplankton kommen] werden von Bakterien zersetzt.
4: Zooplankton wird von Bakterien phagozytiert.	Kommt nicht mehr vor!	

VII.6.1.9 Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler ROHA

Schritt 1:

Auflistung aller Relationen der Concept Maps (CM) der Messzeitpunkte (I-III) (ROHA)

H₂O wird benötigt [für] **Fotosynthese**. I
Licht wird benötigt [für] **Fotosynthese**. I
Licht [führt zu] Wachstum [von] **Phytoplankton**. II
Phytoplankton betreibt **Fotosynthese**. I
CO₂ wird benötigt [für] **Fotosynthese**. I
CO₂ [wird] verarbeitet durch **Phytoplankton**. II
Phytoplankton verbraucht **CO₂**. III
Phytoplankton benötigt **Licht**. III
O₂ wird [in] **Fotosynthese** produziert. I
Phytoplankton erzeugt **O₂**. II
Phytoplankton produziert **O₂**. III
NH₄⁺ wird [von] **Phytoplankton** benötigt. II
Phytoplankton braucht **Silikat**. II
Phytoplankton verbraucht **Silikat**. III
Phytoplankton braucht **P**. II
CO₂ wird [im] **Meer** gespeichert. I
Wasser speichert **CO₂**. II
Abgestorbenes Pflanzen- und Tiermaterial lagert sich an im **Sediment**. I
Abgestorbenes **Phytoplankton** [wird zu] **Sediment**. II
Abgestorbene **Fische** [werden zu] **Sediment**. II
Abgestorbenes **Zooplankton** [wird zu] **Sediment**. II
Fische atmen **O₂** ein. I, II
Fische verbrauchen **O₂**. III
Zooplankton verbraucht **O₂**. III
Bakterien verbrauchen **O₂**. III
Fische atmen **CO₂** aus. I
Fische produzieren **CO₂**. II, III
Zooplankton produziert **CO₂**. III
Bakterien produzieren **CO₂**. III
Zooplankton frisst **Phytoplankton**. I
Phytoplankton [ist] Nahrung [für] **Zooplankton**. III
Fische fressen **Zooplankton**. I, II
Phytoplankton [ist] Nahrung [für] **Fische**. II
Zooplankton [ist] Nahrung [für] **Fische**. III
[Der] **Mensch** fängt **Fische**. I
[Der] **Mensch** stört durch Überfischung [das] **Gleichgewicht**. I
Zooplankton ist aus **organ. N-Verbindungen**. II
Fische sind aus **organ. N-Verbindungen**. II
Phytoplankton ist aus **organ. N-Verbindungen**. II
Bakterien spalten **organ. N-Verbindungen** auf. II
Organ. N-Verbindungen [werden von Bakterien] zu **NH₄⁺** aufgespalten. II
Organ. N-Verbindungen [werden von Bakterien] zu **NO₃⁻** aufgespalten. II
Organ. N-Verbindungen [werden] umgewandelt [in] **NO₃⁻**. III
Tod erhält [das] **Gleichgewicht**. I
Fische sterben [und sind dann] **tot**. I
Wasser [ist] Lebensraum [für] **Fische**. II
[Der] **Mensch** verschmutzt [das] **Meer**. I
Mesopelagial [ist] Bestandteil [der] **Wasserschichten**. III
Epipelagial [ist] Bestandteil [der] **Wasserschichten**. III

Fachwissenschaftlich falsche Relationen:

Bakterien zersetzen **Fische**. F I, III

Bakterien produzieren **abgestorbenes Pflanzen- und Tiermaterial**. F I

Sediment besteht aus **organ. N-Verbindungen**. F II

Phytoplankton [und] **Zooplankton** [stehen miteinander in] Konkurrenz. F II

Zersetzung [von] **Phytoplankton** [durch] **Bakterien** [führt zur Erzeugung von Sediment]. F II

Zersetzung [von] **Fischen** [durch] **Bakterien** [führt zur Erzeugung von Sediment]. F II

Zersetzung [von] **Zooplankton** [durch] **Bakterien** [führt zur Erzeugung von Sediment]. F II

Zooplankton braucht NH_4^+ . F II

Zooplankton braucht **Silicat**. F II

Zooplankton braucht **P**. F II

Bakterien erzeugen **Sediment**. F II

Licht [führt zu] Wachstum von **Zooplankton**. F II

Pyknokline [ist] Bestandteil [von] **Lebewesen**. F III

Lebewesen verbrauchen NO_3^- . F III

Lebewesen produzieren NH_4^+ . F III

Bakterien produzieren **Sediment**. F III

NH_4^+ [wird] umgewandelt [in] **organ. N-Verbindungen**. F III

Schritt 2:

Referenznetz basierte Auswahl von Relationen (ROHA)

Folgende Relationen werden nicht ausgewählt:

- **Mesopelagial** [ist] Bestandteil [der] **Wasserschichten**. III
- **Epipelagial** [ist] Bestandteil [der] **Wasserschichten**. III
- **Pyknokline** [ist] Bestandteil [von] **Lebewesen**. F III

Schritt 2.1: Zusammenfassung von Relationen (ROHA)

Phytoplankton erzeugt O_2 . II

Phytoplankton produziert O_2 . III

Zusammenfassung: **Phytoplankton** produziert O_2 . II, III

CO_2 wird [im] **Meer** gespeichert. I

Wasser speichert CO_2 . II

Zusammenfassung: CO_2 wird [im] **Meer** gespeichert. I, II

Fische atmen O_2 ein. I, II

Fische verbrauchen O_2 . III

Zusammenfassung: **Fische** verbrauchen O_2 . I, II, III

Fische atmen CO_2 aus. I

Fische produzieren CO_2 . II, III

Zusammenfassung: **Fische** produzieren CO_2 . I, II, III

Zooplankton frisst **Phytoplankton**. I

Phytoplankton [ist] Nahrung [für] **Zooplankton**. III

Zusammenfassung: **Zooplankton** frisst **Phytoplankton**. I, III

Fische fressen **Zooplankton**. I, II

Zooplankton [ist] Nahrung [für] **Fische**. III

Zusammenfassung: **Fische** fressen **Zooplankton**. I, II, III

Schritt 2.2: Auflistung der Begriffe und Relationen**Tabelle 51: Auflistung der Begriffe der transkribierten Concept Maps des Probanden ROHA**

Die Dokumentation der Begriffe (Knoten, KNO) erfolgt unter Angabe des Vorkommens in den Messzeitpunkten (I.-III.). Die Anzahl der Häkchen repräsentiert die Häufigkeit des jeweiligen Begriffs in dem Concept Map.

Begriff	I.	II.	III.
Licht	√	√	√
Fische	√	√	√
Bakterien	√	√	√
Phytoplankton	√	√	√
Zooplankton	√	√	√
O ₂	√	√	√
CO ₂	√	√	√
Sediment	√	√	√
Meer	√	√	
Tod	√		
Abgestorbenes Pflanzen- und Tiermaterial	√		
Mensch	√		
Fotosynthese	√		
Gleichgewicht	√		
H ₂ O	√		
P		√	
NH ₄ ⁺		√	√
NO ₃ ⁻		√	√
Silicat		√	√
Organ. N-Verbindungen		√	√
Lebewesen			√

Tabelle 52: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel (s. Bewertungsschema für IS) des Probanden ROHA

Relation	I	II	III	Punkte	Regel
H ₂ O wird benötigt [für] Fotosynthese.	√			1	1.2
Licht wird benötigt [für] Fotosynthese. I	√			3	3.1
Licht [führt zu] Wachstum [von] Phytoplankton.		√		3	3.1
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.	√			3	3.1
CO ₂ wird benötigt [für] Fotosynthese.	√			3	3.2
CO ₂ [wird] verarbeitet durch Phytoplankton.		√		3	3.1
Phytoplankton verbraucht CO ₂ .			√	3	3.1
Phytoplankton benötigt Licht.			√	3	3.1
O ₂ wird [in] Fotosynthese produziert.	√			3	3.2
Phytoplankton produziert O ₂ .		√	√	3	3.1
NH ₄ ⁺ wird [von] Phytoplankton benötigt.		√		2	2.2 & N2
Phytoplankton braucht Silicat.		√	√	3	3.1
Phytoplankton braucht P.		√		3	3.1
CO ₂ wird [im] Meer gespeichert.	√	√		1	1.2

VII. Anhang - Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler ROHA

Fortsetzung der Tabelle 52

Relation	I	II	III	Punkte	Regel
Abgestorbenes Pflanzen- und Tiermaterial lagert sich an im Sediment.	✓			3	3.2 & N3 & N4
Abgestorbenes Phytoplankton [wird zu] Sediment.		✓		2	2.1 & N4
Abgestorbene Fische [werden zu] Sediment.		✓		2	2.1 & N4
Abgestorbenes Zooplankton [wird zu] Sediment.		✓		2	2.1 & N4
Fische verbrauchen O ₂ .	✓	✓	✓	3	3.1
Zooplankton verbraucht O ₂ .			✓	3	3.1
Bakterien verbrauchen O ₂ .			✓	1	1.2
Fische produzieren CO ₂ .	✓	✓	✓	3	3.1
Zooplankton produziert CO ₂ .			✓	3	3.1
Bakterien produzieren CO ₂ .			✓	1	1.2
Zooplankton frisst Phytoplankton.	✓		✓	3	3.1
Fische fressen Zooplankton.	✓	✓	✓	3	3.1
Phytoplankton [ist] Nahrung [für] Fische.		✓		3	3.1
[Der] Mensch fängt Fische.	✓			1	1.2
[Der] Mensch stört durch Überfischung [das] Gleichgewicht.	✓			1	1.2
Zooplankton ist aus organ. N-Verbindungen.		✓		2	2.2
Fische sind aus organ. N-Verbindungen.		✓		2	2.2
Phytoplankton ist aus organ. N-Verbindungen.		✓		2	2.2
Bakterien spalten organ. N-Verbindungen auf.		✓		3	3.1
Organ. N-Verbindungen [werden von Bakterien] zu NH ₄ ⁺ aufgespalten.		✓		3	3.1
Organ. N-Verbindungen [werden von Bakterien] zu NO ₃ ⁻ aufgespalten.		✓		2	2.1
Organ. N-Verbindungen [werden] umgewandelt [in] NO ₃ ⁻ .			✓	2	2.1
Tod erhält [das] Gleichgewicht.	✓			1	1.2
Fische sterben [und sind dann] tot.	✓			0	0.3
Wasser [ist] Lebensraum [für] Fische.		✓		0	0.2
[Der] Mensch verschmutzt [das] Meer.	✓			1	1.2
Bakterien zersetzen Fische.	✓		✓	1	1.1
Bakterien produzieren abgestorbenes Pflanzen- und Tiermaterial.	✓			1	1.1
Sediment besteht aus organ. N-Verbindungen.		✓		1	1.1
Phytoplankton [und] Zooplankton [stehen miteinander in] Konkurrenz.		✓		0	0.1
Zersetzung [von] Phytoplankton [durch] Bakterien [führt zur Erzeugung von Sediment.		✓		1	1.1
Zersetzung [von] Fischen [durch] Bakterien [führt zur Erzeugung von Sediment.		✓		1	1.1
Zersetzung [von] Zooplankton [durch] Bakterien [führt zur Erzeugung von Sediment.		✓		1	1.1
Zooplankton braucht NH ₄ ⁺ .		✓		1	1.1
Zooplankton braucht Silicat.		✓		1	1.1
Zooplankton braucht P.		✓		1	1.1
Bakterien erzeugen Sediment.		✓	✓	1	1.1
Licht [führt zu] Wachstum von Zooplankton.		✓		0	0.1
Lebewesen verbrauchen NO ₃ ⁻ .			✓	1	1.1
Lebewesen produzieren NH ₄ ⁺ .			✓	1	1.1
NH ₄ ⁺ [wird] umgewandelt [in] organ. N-Verbindungen.			✓	1	1.1
Individueller Summenscore	35	58	39		
0 Punkte	1	3	0		
1 Punkt	8	9	7		
2 Punkte	0	8	1		
3 Punkte	9	11	10		

Schritt 2.3:

Beschriftungen sammeln, zusammenfassen und codieren

Folgende Beschriftungen werden zusammen gefasst:

- benötigt
- verbraucht
- braucht

Zusammenfassung: verbraucht

- erzeugen
- produzieren

Zusammenfassung: produzieren

Tabelle 53: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps

Synonyme (Zahlencodes) repräsentieren in den transkribierten CM die Beschriftungen der Verknüpfungen (Pfeile); F, fachwissenschaftlich falsche Kante.

Synonym	Beschriftung der Verknüpfung
1	wird benötigt [für]
2	[führt zu] Wachstum [von]
3	betreibt
4	[wird] verarbeitet durch
5	verbraucht/ verbrauchen
6	wird [in] ... produziert
7	produziert/ produzieren
8	wird [von] ... benötigt
9	wird [im] ... gespeichert
10	lagert sich an im
11	Abgestorbenes/ Abgestorbene ... [wird/ werden zu]
12	frisst/ fressen
13	stört durch Überfischung [das]
14	ist/ sind aus
15	spalten ... auf
16	[werden von Bakterien] zu ... aufgespalten
17	[werden] umgewandelt [in]
18	erhält [das]
19	sterben [und sind dann]
20	[ist] Lebensraum [für]
21	verschmutzt [das]
22	zersetzen (F)
23	produzieren (F)
24	besteht aus (F)
25	[und] ... [stehen miteinander in] Konkurrenz (F)
26	Zersetzung [von] ... [durch] ... [führt zur Erzeugung von Sediment] (F)
27	verbraucht/ verbrauchen (F)
28	[führt zu] Wachstum von (F)
29	[wird] umgewandelt [in]
30	fängt

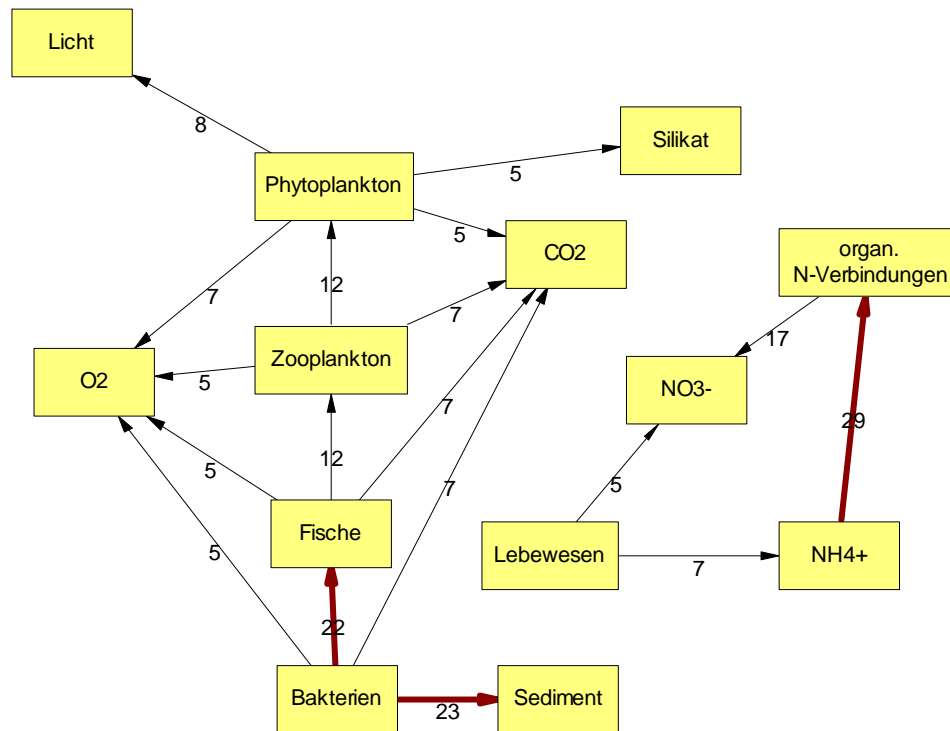


Abb. 60: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ROHA (MZP III)

Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (ROHA)

	I	II	III
Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser:			
CO ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
O ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
Fotosynthese und Nährstoffe:			
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.	x	x	x
Licht wird vom Phytoplankton [für Fotosynthese] aufgenommen.	x	x	x
Phytoplankton nimmt CO ₂ auf.	x	x	x
Phytoplankton gibt O ₂ ab.	x	x	x
Phytoplankton nimmt Nährstoffe auf. (hier sind alle Nährstoffe gemeint, außer NO ₃ ⁻ und NH ₄ ⁺)		x	x
NO ₃ ⁻ wird von Phytoplankton aufgenommen.			
NH ₄ ⁺ wird von Phytoplankton aufgenommen.		x	

Fortsetzung der Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (ROHA)

	I	II	III
Respiration des Phytoplanktons:			
Phytoplankton nimmt O ₂ auf.			
Phytoplankton gibt CO ₂ ab.			
Dissimilation (Respiration) heterotropher Lebewesen:			
Zooplankton nimmt O ₂ auf.			x
Zooplankton gibt CO ₂ ab.			x
Fische nehmen O ₂ auf.	x	x	x
Fische geben CO ₂ ab.	x	x	x
Einfache Nahrungskette:			
Phytoplankton wird von Zooplankton gefressen.	x		x
Zooplankton wird von Fischen gefressen.	x	x	x
Phytoplankton wird von Fischen gefressen.		x	
Nach dem Absterben von Lebewesen sinken die toten Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen ab ins Sediment.	x	x	
Mikrobielle Schleife:			
Bakterien können dem Zooplankton als Nahrung dienen.			
Nährstoffkreislauf:			
Destruenten (Bakterien) zersetzen organ. Stoffe ¹ .		x	
¹ Organ. Stoffe sind tote Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen			
¹ Organ. Stoffe sind organ. N-Verbindungen ²		x	
² Organ. N-Verbindungen sind Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen.		x	
Über die Zersetzung organ. Stoffe durch Destruenten (Bakterien) werden Nährstoffe freigesetzt.		x	
Nährstoffe sind:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH ₄ ⁺		x	
NO ₃ ⁻		x	
Folgende von den bakteriell abgebauten Nährstoffen werden vom Phytoplankton aufgenommen:			
Alle, außer N-Nährstoffe			
NH ₄ ⁺		x	
NO ₃ ⁻			
Nitrifikation:			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH ₄ ⁺ -Ionen bzw. NO ₃ ⁻ -Ionen freigesetzt.			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH ₄ ⁺ Ionen freigesetzt.			
Bakterien können aus NH ₄ ⁺ NO ₃ ⁻ bilden.			
Bestimmte Bakterien (Nitritbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus NH ₄ ⁺ Nitrit (NO ₂ ⁻).			
Bestimmte Bakterien (Nitratbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus Nitrit Nitrat (NO ₃ ⁻).			

Zusatz:

Im Concept Map ist außerdem dargestellt, dass Lebewesen NO₃⁻ verbrauchen und NH₄⁺ bilden. III.

Fachwissenschaftlich falsche Kanten und Korrektur (ROHA)

MZP I	MZP II	MZP III
1: Bakterien zersetzen Fische.	erweitert: Die Zersetzung von Phyto- und Zooplankton sowie Fischen führt zur Erzeugung von Sediment. Als falsche Kante hauptsächlich gewertet, da lebende Organismen dargestellt sind. Bakterien zersetzen die Organismen aber erst nachdem sie gestorben sind.	Kommt nicht mehr vor.
2: Bakterien produzieren abgestorbenes Pflanzen- und Tiermaterial.	Kommt nicht mehr vor. Stattdessen: Bakterien produzieren Sediment.	
	3: Phyto- und Zooplankton stehen in Konkurrenz zueinander.	Korrigiert in: Zooplankton frisst Phytoplankton
	4: Zooplankton verbraucht P, Silikat und NH_4^+ .	Kommt nicht mehr vor.
	5: Phytoplankton verbraucht NH_4^+ . Anmerkung: Die falsche Kante bezieht sich darauf, dass hier keine Verbindung zu NO_3^- gezogen ist, das impliziert, dass der Proband hier davon ausgeht, dass NH_4^+ das Nährsalz für das Phytoplankton ist und nicht NO_3^- . Tatsächlich bevorzugt Phytoplankton jedoch NO_3^- .	Teilweise korrigiert in: Lebewesen verbrauchen NO_3^- . <u>Anmerkung:</u> Da hier die allgemeine Formulierung „Lebewesen“ gewählt wurde, kann nicht davon ausgegangen werden, dass der Proband verstanden hat, dass das Phytoplankton NO_3^- aufnimmt und die weiteren Lebewesen dieses Nährsalz indirekt über die Nahrungskette aufnehmen, so z. B. das Zooplankton über die Nahrungsaufnahme von Phytoplankton. Außerdem wird angegeben, dass die Lebewesen NH_4^+ ausscheiden, was an sich nur für Fische richtig ist. Der Stickstoffkreislauf ist hier nicht bekannt. 7: NH_4^+ wird umgewandelt in organ. N-Verbindungen.
	6: Das Sediment besteht aus organ. N-Verbindungen.	

VII.6.1.10 Transkript und Einzelfallanalyse von Schüler ROHE

Schritt 1:

Auflistung aller Relationen der Concept Maps (CM) der Messzeitpunkte (I-III) (ROHE)

CO₂ (2x) [aus der Atmosphäre] geht teilweise ins Wasser. I
O₂ (2x) geht [aus der Atmosphäre] ins Wasser. II
Landwirtschaft führt zur Eutrophierung [mit] **NO₃⁻**. III
Licht erzeugt **Wärme**. I
Abwässer erzeugen **Wärme**. I
Wärme verringert **O₂** [-Gehalt im Wasser]. I
Wasserpflanzen benötigen für Fotosynthese **Licht**. I
Licht fördert Wachstum von **Phytoplankton**. I
Phytoplankton nimmt **CO₂** auf und betreibt damit Fotosynthese. II, III
CO₂ wird von **Wasserpflanzen** aufgenommen. I
Wasserpflanzen erzeugen durch Fotosynthese **O₂**. I
Phytoplankton gibt **O₂** als eines der Endprodukte der Fotosynthese ab. II, III
Phytoplankton nimmt **Licht** auf und betreibt damit Fotosynthese. II
Phytoplankton benötigt **Licht** zur Fotosynthese. III
Phytoplankton sind **Wasserpflanzen**. I
Phytoplankton benötigt **NO₃⁻**. II
Phytoplankton braucht **NO₃⁻** zum Erzeugen von Biomasse. III
P wird von **Phytoplankton** für [die] Erzeugung von Biomasse benötigt. III
Wasserpflanzen benötigen **Nährstoffe**. II
Phytoplankton benötigt **Nährstoffe**. II
NO₂⁻ wird durch Nitratbakterien zu **Nitrat**. III
NO₃⁻ wird durch Zersetzung, die Bakterien leisten, [aus dem] **Sediment** frei. III
P wird durch Zersetzung [des] **Sediments** frei. III
NH₄⁺ wird durch Nitritbakterien zu **Nitrit**. III
Fische benötigen für die Jagd **Licht**. I
Fische benötigen **Licht** zur Orientierung. II
Zooplankton benötigt **Licht**. II
Wasserfloh ist ein **Zooplankton**. I
Fische verbrauchen beim Atmen **O₂**. I, II, III
Phytoplankton benötigt **O₂** zum Atmen. II
Fische fressen **Wasserpflanzen**. I
Sediment gibt Mineralien [an] **Wasserpflanzen**. I
Wärme lässt **Phytoplankton** wachsen. I
Nach dem Tod wird **Phytoplankton** **Sediment**. I
Nach dem Tod wird **Zooplankton** **Sediment**. I
Nach dem Tod werden **Fische** **Sediment**. I
Zooplankton sinkt ab ins **Sediment**. II
Fische sinken ab nach dem Tod [ins] **Sediment**. II
Bakterien leben im **Sediment**. II
Wasserpflanzen wachsen auf dem **Sediment**. II
Phytoplankton benötigt **CO₂**. I
Fische atmen **CO₂** aus. I, III **Fische** geben **CO₂** beim Atmen ab. II
Fische fressen **Zooplankton**. I, II, III
Fische fressen **Phytoplankton**. I, II
Zooplankton frisst **Phytoplankton**. II, III
Bakterien leben im **Sediment** und arbeiten als Zersetzer. III
Salze gehen in **Sediment**. I
Phytoplankton sinkt ab ins **Sediment**. II
Phytoplankton sinkt beim Absterben ins **Sediment** ab. III
Bakterien verwerten **Zooplankton** im **Sediment**. II
Bakterien verwerten **Phytoplankton** im **Sediment**. II
Si wird nach Zersetzung [des] **Sediments** wieder frei. III

CO₂ lagert sich im **Sediment** als Kalk an. III
Zooplankton sinkt nach Absterben [ins] **Sediment** ab. III
Fische sinken nach dem Tod [ins] **Sediment** ab. III
Abwässer enthalten **Salze**. I
Industrie leitet **Abwässer** [in Wasserkörper] ein. I
Industrie stößt **CO₂** aus. I
Thermokline hält **Zooplankton** in der oberflächennahen Schicht. II
Licht dringt ins **Epipelagial** ein. III
Phytoplankton [ist] beheimatet [im] **Epipelagial**. III
Durchmischung wirbelt **Nährstoffe** auf. II
Wind verursacht **Durchmischung**. II
Thermokline hält **Phytoplankton** in der oberflächennahen Schicht (Licht). II

Fachwissenschaftlich falsche Relationen:

Phytoplankton benötigt **Si** für die Erzeugung von Biomasse. F III
Wärme erhöht **CO₂**. F I
Salze töten/ schädigen **Fische**. F I
Salze töten/ schädigen **Zooplankton**. F I
Salze töten/schädigen **Phytoplankton**. F I
Zooplankton benötigt **O₂** [aus der Atmosphäre] zum Atmen. F II
Bakterien erzeugen **Nährstoffe** im Sediment. II
Phytoplankton benötigt **Pyknokline**, um nicht in lichtlose Bereiche zu sinken. F III
Pyknokline trennt **Epipelagial** [und] **Mesopelagial**. (3. Pfeil fällt hier mit rein.) F III
Licht dringt nicht ins **Mesopelagial** vor. F III
[Aus] **organ. N-Verbindungen** [der Atmosphäre wird mittels] Stickstofffixierung **NH₄⁺** [ins Wasser eingeführt]. F III
NO₃⁻ [aus dem Wasser wird mittels] Denitrierung [als] **organ. N-Verbindungen** [an die Atmosphäre gegeben]. F III
Kläranlagen führen zur Eutrophierung [mit] **P**. F III

Schritt 2:

Referenznetz basierte Auswahl von Relationen (ROHE)

Folgende Relationen werden nicht ausgewählt:

- **Abwässer** erzeugen **Wärme**. I
- **Wärme** verringert **O₂** [-Gehalt im Wasser]. I
- **Fische** benötigen für die Jagd **Licht**. I
- **Fische** benötigen **Licht** zur Orientierung. II
- **Thermokline** hält **Zooplankton** in der oberflächennahen Schicht. II
- **Licht** dringt ins **Epipelagial** ein. III
- **Phytoplankton** [ist] beheimatet [im] **Epipelagial**. III
- **Durchmischung** wirbelt **Nährstoffe** auf. II
- **Wind** verursacht **Durchmischung**. II
- **Thermokline** hält **Phytoplankton** in der oberflächennahen Schicht (Licht). II
- **Wärme** erhöht **CO₂**. F I
- **Phytoplankton** benötigt **Pyknokline**, um nicht in lichtlose Bereiche zu sinken. F III
- **Pyknokline** trennt **Epipelagial** [und] **Mesopelagial**. F III
- **Licht** dringt nicht ins **Mesopelagial** vor. F III

Schritt 2.1: Zusammenfassung von Relationen (ROHE)

Phytoplankton nimmt **Licht** auf und betreibt damit Fotosynthese. II

Phytoplankton benötigt **Licht** zur Fotosynthese. III

Zusammenfassung: **Phytoplankton** benötigt **Licht** zur Fotosynthese. III

Nach dem Tod wird **Phytoplankton** **Sediment**. I

Phytoplankton sinkt ab ins **Sediment**. II

Phytoplankton sinkt beim Absterben ins **Sediment** ab. III

Zusammenfassung: **Phytoplankton** sinkt nach dem Absterben ins **Sediment** ab. I, II, III

Nach dem Tod wird **Zooplankton** **Sediment**. I

Zooplankton sinkt ab ins **Sediment**. II

Zooplankton sinkt nach Absterben [ins] **Sediment** ab. III

Zusammenfassung: **Zooplankton** sinkt nach dem Absterben ins **Sediment** ab. I, II, III

Nach dem Tod werden **Fische** **Sediment**. I

Fische sinken ab nach dem Tod [ins] **Sediment**. II

Zusammenfassung: **Fische** sinken ab nach dem Tod [ins] **Sediment**. I, II

Fische atmen **CO₂** aus. I, III

Fische geben **CO₂** beim Atmen ab. II

Zusammenfassung: **Fische** atmen **CO₂** aus. I, II, III

Schritt 2.2: Auflistung der Begriffe und Relationen

Tabelle 54: Auflistung der Begriffe der transkribierten Concept Maps des Probanden ROHE

Die Dokumentation der Begriffe (Knoten, KNO) erfolgt unter Angabe des Vorkommens in den Messzeitpunkten (I.-III.). Die Anzahl der Häkchen repräsentiert die Häufigkeit des jeweiligen Begriffs in dem Concept Map.

Begriff	I.	II.	III.
Licht	√	√	√
Fische	√	√	√
CO ₂	√√	√	√
O ₂	√	√√	√
Zooplankton	√	√	√
Phytoplankton	√	√	√
Sediment	√	√	√
Industrie	√		
Abwässer	√		
Salze	√		
Wasserfloh	√		
Wasserpflanzen	√	√	
Wärme	√		
Nährstoffe		√	
Bakterien		√	√
NO ₃ ⁻		√	√
NH ₄ ⁺			√
Organ. N-Verbindungen			√
Kläranlage			√
P			√
NO ₂ ⁻			√
Landwirtschaft			√
Si			√

Tabelle 55: Auflistung der Relationen der transkribierten Concept Maps samt Punktwerten (0-3) für die Bestimmung des individuellen Summenscores (IS) und zugrunde liegenden Regel (s. Bewertungsschema für IS) des Probanden ROHE

Relationen	I	II	III	Punkte	Regel
CO ₂ (2x)[aus der Atmosphäre] geht teilweise ins Wasser.	√			2	2.2
O ₂ (2x) geht [aus der Atmosphäre] ins Wasser.		√		2	2.2
Landwirtschaft führt zur Eutrophierung [mit] NO ₃ ⁻ .			√	1	1.2
Licht erzeugt Wärme.	√			1	1.2
Wasserpflanzen benötigen für Fotosynthese Licht.	√			1	1.2
Licht fördert Wachstum von Phytoplankton.	√			3	3.1
Phytoplankton nimmt CO ₂ auf und betreibt damit Fotosynthese.		√	√	3	3.1
Phytoplankton benötigt CO ₂ .	√			3	3.1
CO ₂ wird von Wasserpflanzen aufgenommen.	√			3	3.1
Wasserpflanzen erzeugen durch Fotosynthese O ₂ .	√			3	3.2
Phytoplankton gibt O ₂ als eines der Endprodukte der Fotosynthese ab.		√	√	3	3.1
Phytoplankton benötigt Licht zur Fotosynthese.			√	3	3.1
Phytoplankton sind Wasserpflanzen.	√			2	2.3
Phytoplankton benötigt NO ₃ ⁻ .		√		3	3.1
Phytoplankton braucht NO ₃ ⁻ zum Erzeugen von Biomasse.			√	3	3.1
Phytoplankton benötigt Si für die Erzeugung von Biomasse.			√	3	3.1
P wird von Phytoplankton für [die] Erzeugung von Biomasse benötigt.			√	3	3.1
Wasserpflanzen benötigen Nährstoffe.		√		3	3.2
Phytoplankton benötigt Nährstoffe.		√		3	3.1
NO ₂ ⁻ wird durch Nitratbakterien zu Nitrat.			√	3	3.1
NO ₃ ⁻ wird durch Zersetzung, die Bakterien leisten, [aus dem] Sediment frei.			√	2	2.1
P wird durch Zersetzung [des] Sediments frei.			√	3	3.1
NH ₄ ⁺ wird durch Nitritbakterien zu Nitrit.			√	3	3.1
Zooplankton benötigt Licht.		√		1	1.2
Wasserfloh ist ein Zooplankton.	√			2	2.3
Fische verbrauchen beim Atmen O ₂ .	√	√	√	3	3.1
Phytoplankton benötigt O ₂ zum Atmen.		√		3	3.1 & N5
Fische fressen Wasserpflanzen.	√			1	1.2
Sediment gibt Mineralien [an] Wasserpflanzen.	√			1	1.2
Wärme lässt Phytoplankton wachsen.	√			1	1.2
Phytoplankton sinkt nach dem Absterben ins Sediment ab.	√	√	√	3	3.2 & N4
Zooplankton sinkt nach dem Absterben ins Sediment ab.	√	√	√	3	3.2 & N4
Fische sinken ab nach dem Tod [ins] Sediment.	√	√	√	3	3.2 & N4
Bakterien leben im Sediment.		√		2	2.2
Wasserpflanzen wachsen auf dem Sediment.		√		1	1.2
Fische atmen CO ₂ aus.	√	√	√	3	3.1
Fische fressen Zooplankton.	√	√	√	3	3.1
Fische fressen Phytoplankton.	√	√		3	3.1
Zooplankton frisst Phytoplankton.		√	√	3	3.1
Bakterien leben im Sediment und arbeiten als Zersetzer.			√	3	3.1
Salze gehen in Sediment.	√			1	1.2

Fortsetzung der Tabelle 55

Relationen	I	II	III	Punkte	Regel
Bakterien verwerten Zooplankton im Sediment.		√		3	3.2
Bakterien verwerten Phytoplankton im Sediment.		√		3	3.2
Si wird nach Zersetzung [des] Sediments wieder frei.			√	3	3.2
CO ₂ lagert sich im Sediment als Kalk an.			√	3	3.3
Abwässer enthalten Salze.	√			1	1.2
Industrie leitet Abwässer [in Wasserkörper] ein.	√			1	1.2
Industrie stößt CO ₂ aus.	√			1	1.2
Salze töten/ schädigen Fische.	√			0	0.1
Salze töten/ schädigen Zooplankton.	√			0	0.1
Salze töten/schädigen Phytoplankton.	√			0	0.1
Zooplankton benötigt O ₂ [aus der Atmosphäre] zum Atmen.		√		1	1.1
Bakterien erzeugen Nährstoffe im Sediment.		√		3	3.1
[Aus] organ. N-Verbindungen [der Atmosphäre wird mittels] Stickstofffixierung NH ₄ ⁺ [ins Wasser eingeführt].			√	0	0.1
NO ₃ ⁻ [aus dem Wasser wird mittels] Denitrifizierung [als] organ. N-Verbindungen [an die Atmosphäre gegeben].			√	0	0.1
Kläranlagen führen zur Eutrophierung [mit] P.			√	0	0.1
Individueller Summenscore	48	58	60		
0 Punkte	3	0	3		
1 Punkt	9	3	1		
2 Punkte	3	2	1		
3 Punkte	11	17	19		

Schritt 2.3:**Beschriftungen sammeln, zusammenfassen und codieren**

Folgende Beschriftungen werden zusammen gefasst:

geht [aus der Atmosphäre] ins Wasser

[aus der Atmosphäre] geht teilweise ins Wasser

Zusammenfassung: [aus der Atmosphäre] geht teilweise ins Wasser

benötigen für Fotosynthese

nimmt ... auf und betreibt damit Fotosynthese

Zusammenfassung: benötigen für Fotosynthese

gibt ... als eines der Endprodukte der Fotosynthese ab

erzeugen durch Fotosynthese

Zusammenfassung: erzeugen durch Fotosynthese

wird von ... für [die] Erzeugung von Biomasse benötigt

braucht ... zum Erzeugen von Biomasse

Zusammenfassung: braucht/ wird gebraucht ... für [die] Erzeugung von Biomasse

verbrauchen beim Atmen

benötigt ... zum Atmen

Zusammenfassung: benötigt/ benötigen ... zum Atmen

wird nach Zersetzung [des] ... wieder frei

wird durch Zersetzung, die Bakterien leisten, [aus dem] ... frei
 Zusammenfassung: wird durch Zersetzung, die Bakterien leisten, [aus dem] ... frei
 sinken nach dem Tod [ins] ... ab
 sinkt nach dem Absterben ins ... ab
 Zusammenfassung: sinkt/ sinken nach dem Absterben ins ... ab

Tabelle 56: Codierung der Beschriftungen der transkribierten Concept Maps

Synonyme (Zahlencodes) repräsentieren in den transkribierten CM die Beschriftungen der Verknüpfungen (Pfeile); F, fachwissenschaftlich falsche Kante.

Synonym	Beschriftung der Verknüpfung
1	[aus der Atmosphäre] geht teilweise ins Wasser
2	führt zur Eutrophierung [mit]
3	erzeugt
4	benötigt/ benötigen
5	benötigt/ benötigen für Fotosynthese
6	fördert Wachstum von
7	wird von ... aufgenommen
8	erzeugt/ erzeugen durch Fotosynthese
9	braucht/ wird gebraucht ... für [die] Erzeugung von Biomasse
10	wird durch Nitratbakterien zu
11	wird durch Zersetzung, die Bakterien leisten, [aus dem] ... frei
12	wird durch Zersetzung [des] ... frei
13	wird durch Nitritbakterien zu
14	ist ein/ sind
15	benötigt/ benötigen ... zum Atmen
16	frisst/ fressen
17	gibt Mineralien [an]
18	lässt ... wachsen
19	sinkt/ sinken nach dem Absterben ins ... ab
20	leben im
21	wachsen auf dem
22	atmen ... aus
23	leben im ... und arbeiten als Zersetzer
24	gehen in
25	verwerten ... im Sediment
26	lagert sich im ... als Kalk an
27	enthalten
28	leitet ... [in Wasserkörper] ein
29	stößt ... aus
30	töten/ schädigen (F)
31	benötigt ... [aus der Atmosphäre] zum Atmen (F)
32	erzeugen ... im Sediment
33	[Aus] ... [der Atmosphäre wird mittels] Stickstofffixierung ... [ins Wasser eingeführt]. (F)
34	[aus dem Wasser wird mittels] Denitrierung [als] ... [an die Atmosphäre [gegeben]. (F)
35	führen zur Eutrophierung [mit] (F)

Schritt 3:

Erstellen der transkribierten Concept Maps (ROHE)

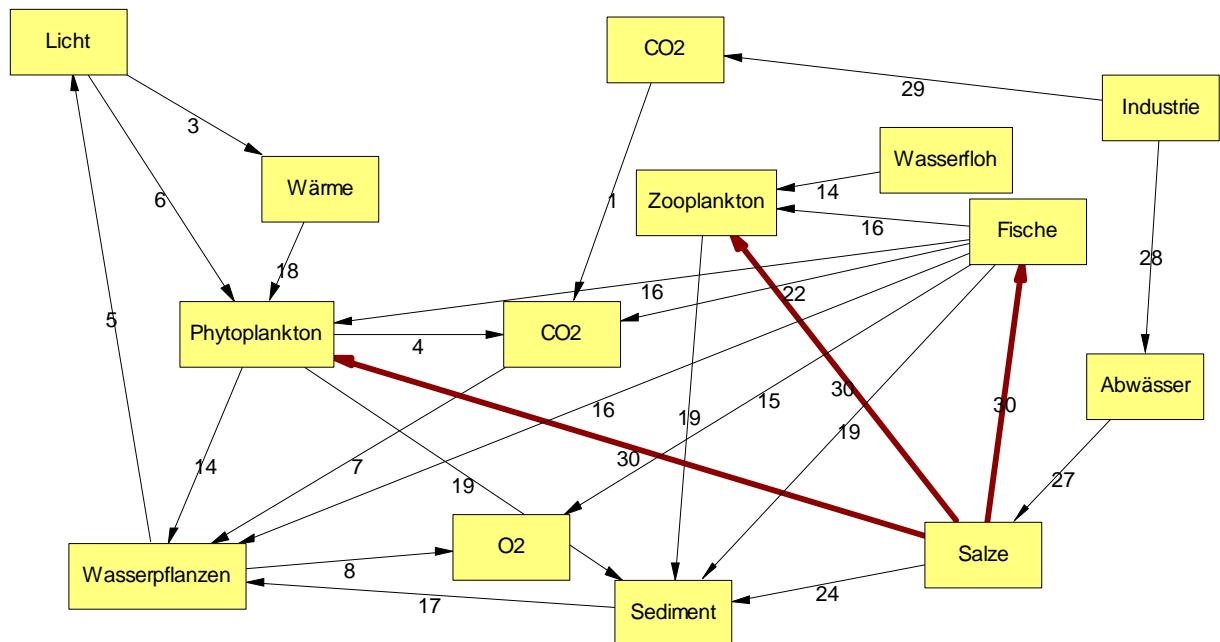


Abb. 61: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ROHE (MZIP I)

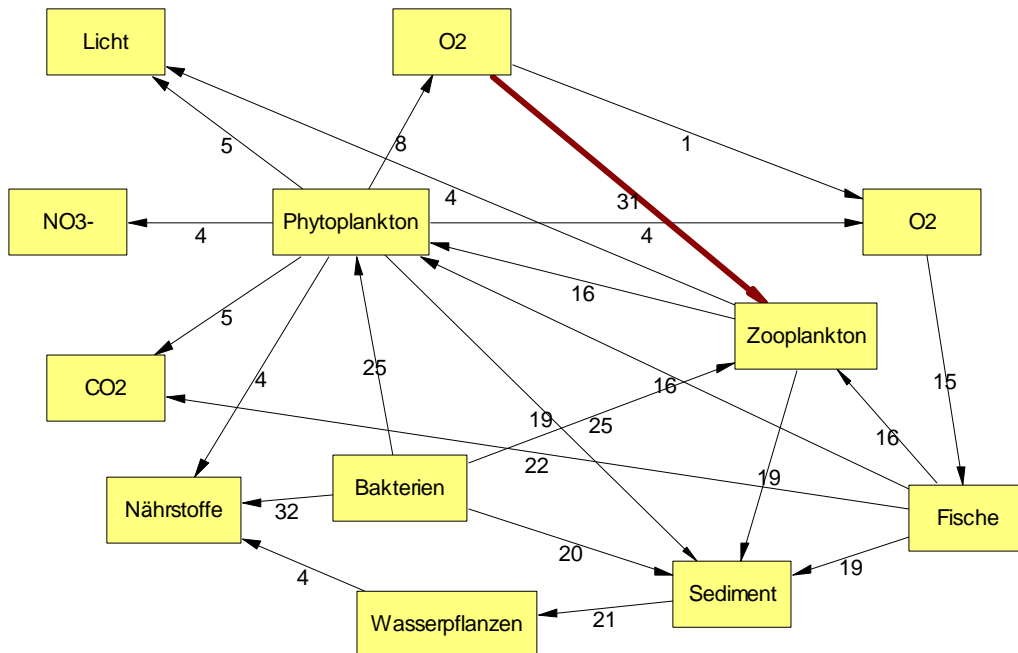


Abb. 62: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ROHE (MZIP II)

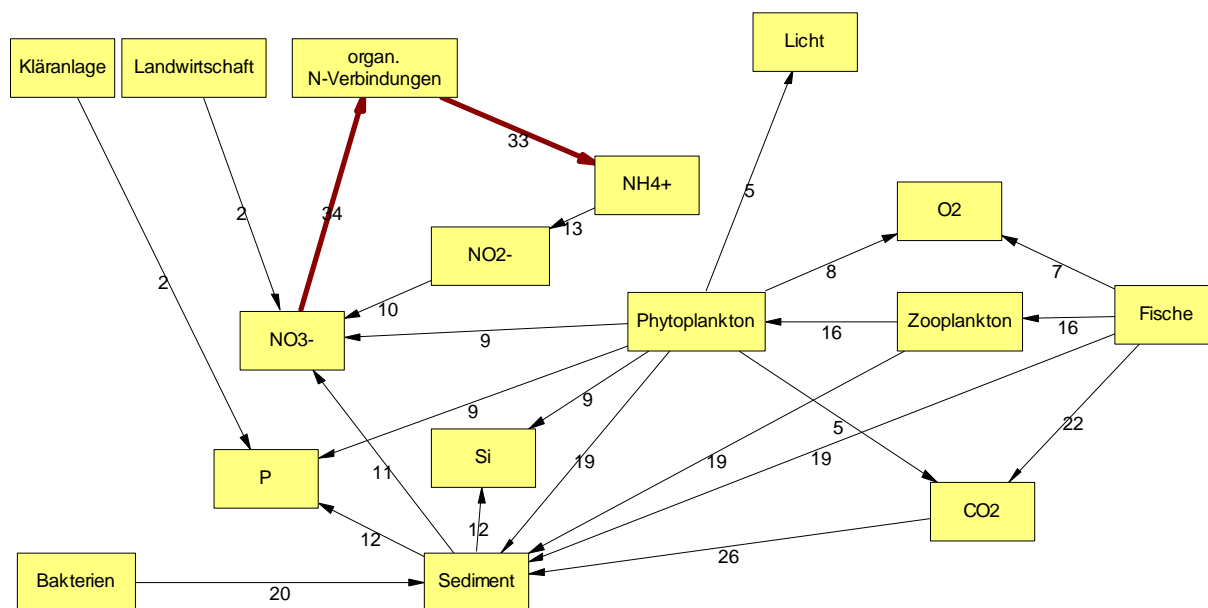


Abb. 63: Transkribiertes Concept Map von dem Schüler ROHE (MZP III)

Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (ROHE)

	I	II	III
Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser:			
CO ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser	x		
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
O ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.			
<u>Nur eine Richtung:</u>			
Richtung: Atmosphäre → Wasser		x	
Richtung: Wasser → Atmosphäre			
Fotosynthese und Nährstoffe:			
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.	x	x	x
Licht wird vom Phytoplankton [für Fotosynthese] aufgenommen.	x	x	x
Phytoplankton nimmt CO ₂ auf.	x	x	x
Phytoplankton gibt O ₂ ab.	x	x	x
Phytoplankton nimmt Nährstoffe auf. (hier sind alle Nährstoffe gemeint, außer NO ₃ ⁻ und NH ₄ ⁺)		x	x
NO ₃ ⁻ wird von Phytoplankton aufgenommen.		x	x
NH ₄ ⁺ wird von Phytoplankton aufgenommen.			
Respiration des Phytoplanktons:			
Phytoplankton nimmt O ₂ auf.		x	
Phytoplankton gibt CO ₂ ab.			

Fortsetzung der Ermittlung der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte (ROHE)

Dissimilation (Respiration) heterotropher Lebewesen:			
Zooplankton nimmt O ₂ auf.			
Zooplankton gibt CO ₂ ab.			
Fische nehmen O ₂ auf.	x	x	x
Fische geben CO ₂ ab.	x	x	x
Einfache Nahrungskette:			
Phytoplankton wird von Zooplankton gefressen.		x	x
Zooplankton wird von Fischen gefressen.	x	x	x
Phytoplankton wird von Fischen gefressen.	x	x	
Nach dem Absterben von Lebewesen sinken die toten Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen ab ins Sediment.	x	x	x
Mikrobielle Schleife:			
Bakterien können dem Zooplankton als Nahrung dienen.			
Nährstoffkreislauf:			
Destruenten (Bakterien) zersetzen organ. Stoffe ¹ .		x	x
¹ Organ. Stoffe sind tote Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen		x	x
¹ Organ. Stoffe sind organ. N-Verbindungen ²			
² Organ. N-Verbindungen sind Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen.			
Über die Zersetzung organ. Stoffe durch Destruenten (Bakterien) werden Nährstoffe freigesetzt.		x	x
Nährstoffe sind:			
Alle, außer N-Nährstoffe		x	x
NH ₄ ⁺			
NO ₃ ⁻			x
Folgende von den bakteriell abgebauten Nährstoffen werden vom Phytoplankton aufgenommen:			
Alle, außer N-Nährstoffe		x	x
NH ₄ ⁺			
NO ₃ ⁻			x
Nitrifikation:			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH ₄ ⁺ -Ionen bzw. NO ₃ ⁻ -Ionen freigesetzt.			(1)
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH ₄ ⁺ Ionen freigesetzt.			
Bakterien können aus NH ₄ ⁺ NO ₃ ⁻ bilden.			x
Bestimmte Bakterien (Nitritbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus NH ₄ ⁺ Nitrit (NO ₂ ⁻).			x
Bestimmte Bakterien (Nitratbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus Nitrit Nitrat (NO ₃ ⁻).			x

Anmerkung:

(1) In dem Original-CM ist der Sachverhalt, dass die Nährstoffe aus den organ. Stoffen des Sediments durch den bakteriellen Abbau wieder frei werden und dem Phytoplankton als Nährstoff dienen, korrekt dargestellt. Organ. N-Verbindungen werden aber nicht richtig verstanden. Es scheint, als habe der Proband das Fehlkonzept, dass organ. N-Verbindungen molekularer Stickstoff (N₂) sind.

Fachwissenschaftlich falsche Kanten und Korrektur (ROHE)

MZP I	MZP II	MZP III
1: Salze töten/ schädigen Phyto- und Zooplankton sowie Fische.		
	2: Zooplankton benötigt O ₂ aus der Atmosphäre/ Luft.	
	3: Bakterien erzeugen im Sediment Nährstoffe.	
		4: NO ₃ ⁻ [aus dem Wasser wird mittels] Denitrierung [als] organ. N-Verbindungen [an die] Atmosphäre [gegeben].
		5: [Aus] organ. N-Verbindungen [der Atmosphäre wird mittels] Stickstofffixierung NH ₄ ⁺ [ins Wasser eingeführt].

VII.6.2 Gruppenanalyse

VII.6.2.1 Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser

Vorwissen:

Vor dem Projekt stellt keiner der Probanden einen Gasaustausch zwischen dem Wasser und der Atmosphäre dar (s. Tabelle 63). Die Hälfte der Schüler stellt allerdings einen einseitigen Gasfluss von CO_2 dar, entweder von der Atmosphäre ins Wasser oder umgekehrt. Einzelne Schüler stellen zusätzlich einen einseitigen Gasfluss von O_2 dar, entweder von der Atmosphäre ins Wasser oder umgekehrt.

Datenentwicklung vom MZP I. nach MZP II:

Ein Proband stellt den Gasaustausch (O_2 und CO_2) zwischen Wasser und Atmosphäre als Diffusion fachwissenschaftlich richtig dar.

Datenentwicklung vom MZP II nach MZP III:

Keine weitere Entwicklung.

Fachwissenschaftlich falsche Kanten:

Knapp 50% der Schüler stellen einseitige Gasflüsse dar, die andere Hälfte stellt gar nichts dar. Ein einseitiger Gasfluss ist streng gewertet eine falsche Kante, da es sich tatsächlich um einen zweiseitigen Konzentrationsausgleichsprozess handelt, also einen Diffusionsprozess.

VII.6.2.2 Fotosynthese und Nährstoffe

Vorwissen:

Den meisten Schülern sind die Lebewesen des Phytoplanktons als fotosynthetisch aktiv bekannt (s. Tabelle 63). Die damit verbundene CO_2 -Aufnahme und O_2 -Abgabe wird fachwissenschaftlich richtig dargestellt. Ebenso wird die erforderliche Lichtaufnahme durch die Lebewesen des Phytoplanktons dargestellt. Keiner der Probanden stellt eine Nährstoffaufnahme durch die Lebewesen des Phytoplanktons mit Nährstoffen dar, die keine stickstoffhaltigen Nährstoffe sind. Einzelne Probanden stellen NH_4^+ und NO_3^- als Nährstoffe für die Lebewesen des Phytoplanktons dar.

Datenentwicklung vom MZP I nach MZP II:

Die Lebewesen des Phytoplanktons als fotosynthetisch aktive und damit autotrophe Lebewesen sind allen Schülern bekannt. Der Bedarf an Nährstoffen ist den meisten Schülern bekannt, davon beziehen einzelne Schüler auch Nährstoffe ein, die keinen Stickstoff enthalten (z. B. Silikat).

Bezüglich der Nährstoffe ist den wenigsten Schülern vor dem Projekt bekannt, dass die Lebewesen des Phytoplanktons Nährstoffe benötigen, das ist zur Mitte des Projekts zumindest mehr als 50% der Schüler bekannt.

Datenentwicklung vom MZP II nach MZP III:

Vom Zwischentest zum Post-Test steigt zwar nicht die Anzahl an Schülern, die eine Nährstoffaufnahme durch das Phytoplankton darstellen, jedoch zeigt sich ein qualitativer Wissenszuwachs: Im Post-Test stellen die meisten Schüler dar, dass NO_3^- von den Lebewesen des Phytoplanktons dem NH_4^+ bevorzugt wird.

Fachwissenschaftlich falsche Kanten:

Die Anzahl an Schülern, die fachwissenschaftlich falsche Kanten zeigen, nimmt mit den Messzeitpunkten ab (s. Tabelle 57).

Tabelle 57: Falsche Kanten über das Konzept Fotosynthese und Nährstoffe

Das Vorkommen einer falschen Kante ist durch den Code des Schülers dokumentiert, in dessen CM sich die jeweilige Kante gezeigt hat. Falls ein Schüler eine falsche Kante in einem CM eines späteren Messzeitpunktes korrigiert, findet sich unter diesem Messzeitpunkt der Schülercode mit einem (K).

<i>Eindeutig falsche Kanten:</i>	I	II	III
Phytoplankton braucht O ₂ . (s. Anmerkung (1) unter der Tabelle)	ANHE, HEHE	ANHE, <i>HEHE (K)</i>	
Phytoplankton gibt CO ₂ ab. (s. Anmerkung (1) unter der Tabelle)	ANHE	ANHE	
Die Ionen NH ₄ ⁺ und NO ₃ ⁻ beeinträchtigen bzw. schädigen das Phytoplankton.	CAHA	<i>CAHA (K)</i> ,	
Die Ionen NH ₄ ⁺ und NO ₃ ⁻ beeinträchtigen bzw. schädigen das Zooplankton.	CAHA		
Die Ionen NH ₄ ⁺ und NO ₃ ⁻ beeinträchtigen bzw. schädigen Fische. (Wenn NH ₄ ⁺ als Gift ausschließlich für Fische dargestellt ist, wird das als richtig gewertet).	CAHA		
Zooplankton ist ein fotosynthetisch autotrophes Lebewesen.	HEHE, BIMA	<i>HEHE (K)</i> , BIMA	<i>BIMA (K)</i>
Zooplankton nimmt CO ₂ auf.	HEHE, BIMA	<i>HEHE (K)</i> , BIMA	<i>BIMA (K)</i>
Zooplankton nimmt Licht für Fotosynthese auf.	HEHE	<i>HEHE (K)</i> , BIMA, COBE	<i>BIMA (K)</i>
Zooplankton gibt O ₂ ab.	HEHE	<i>HEHE (K)</i> , BIMA, COBE	<i>BIMA (K)</i>
Zooplankton nimmt NO ₃ ⁻ auf.		BIMA	<i>BIMA (K)</i>
Anzahl verschiedener Schüler mit eindeutig falschen Kanten:	4	3	0
<i>Nicht eindeutig falsche Kanten:</i>			
Phytoplankton wandelt organ. N-Verbindungen um.			COBE
Phytoplankton verarbeitet aus Mineralien organ. N-Verbindungen.	KIUW	<i>KIUW (K)</i>	
Phytoplankton braucht NH ₄ ⁺ als Nährstoff. (Als falsche Kante gewertet, wenn im CM ebenfalls NO ₃ ⁻ dargestellt ist, jedoch nicht als Nährstoff für das Phytoplankton.)		ROHA	
Anzahl verschiedener Schüler mit nicht eindeutig falschen Kanten:	1	1	1
Summe der Anzahl verschiedener Schüler mit falschen Kanten (eindeutige und nicht eindeutige zusammengefasst):	5	4	1

Anmerkung (1) zu Tabelle 57:

Relationen, in denen eine O_2 -Aufnahme bzw. CO_2 -Abgabe durch die Lebewesen des Phytoplanktons dargestellt sind, wurden als falsche Kante gewertet, wenn in demselben CM keine fotosynthetische O_2 -Abgabe bzw. CO_2 -Aufnahme durch die Lebewesen des Phytoplanktons dargestellt waren. Fachwissenschaftlich bewertet beschreiben die Relationen die Zellatmung zwar richtig, jedoch in dem Wissen des Schülers sind diese Relationen nicht adäquat integriert. Ziel der hier vorgelegten Arbeit war es aufzuklären, ob die Schüler ein Verständnis in der Domäne erreichen. Wenn ein Schüler die Vorgänge der Respiration des Phytoplanktons fachwissenschaftlich richtig darstellt, jedoch nicht die fotosynthetische O_2 -Bildung bzw. CO_2 -Abgabe, zeigt das, dass der Proband die Lebewesen des Phytoplanktons fachwissenschaftlich falsch einordnet und somit noch kein fachwissenschaftlich richtiges Verständnis über das Ökosystem und dessen Nahrungsbeziehungen hat.

Im Vorwissen und auch noch in der Mitte des Projekts (Zwischentest) sind für einzelne Schüler die Lebewesen des Zooplanktons fotosynthetisch autotrophe Lebewesen (MZIP I: HEHE, BIMA; MZIP II: BIMA, COBE). Ein Schüler (HEHE) verwechselt im MZIP I das Phytoplankton mit dem Zooplankton, was er zum Zeitpunkt des MZIP II korrigiert. Für die Ergebnisse der erfassten Inhalte bedeutet das, dass zum Zeitpunkt des MZIP II zwei Schüler sowohl das Phytoplankton als auch das Zooplankton als fotosynthetisch autotrophe Lebewesen ansehen, denn dort stellen alle Schüler das Phytoplankton bereits als solches dar. Am Ende des Projekts haben alle Schüler verstanden, dass die Lebewesen des Phytoplanktons fotosynthetisch autotroph sind und die Lebewesen des Zooplanktons heterotroph.

Im Vorwissen liegt bei Schüler CAHA eine falsche Kante bezüglich der Nährstoffe NH_4^+ und NO_3^- vor. Er stellt dar, dass diese Ionen die Lebewesen schädigen. Dass diese Ionen Nährstoffe sind, die vom Phytoplankton aufgenommen werden, stellt der Proband im MZIP II fachwissenschaftlich richtig dar und korrigiert damit die falsche Kante des MZIP I.

Unter den **nicht eindeutig falschen Kanten** zeigt sich im Vorwissen des Schülers KIUW, dass die Lebewesen des Phytoplanktons aus Mineralien organ. N-Verbindungen verarbeiten. Das ist in dieser linearen Beziehung separat betrachtet fachwissenschaftlich falsch. Im MZIP II korrigiert KIUW die falsche Kante indem er darstellt, dass die Lebewesen des Phytoplanktons organ. N-Verbindungen fotosynthetisch aufbauen. Die Darstellung ist also in der späteren Darstellung zumindest fachwissenschaftlich deutlich präziser.

Im MZIP II stellt der Schüler ROHA dar, dass die Lebewesen des Phytoplanktons NH_4^+ als Nährstoff aufnehmen. Das ist separat betrachtet fachwissenschaftlich richtig, jedoch stellt der Schüler in demselben CM dar, dass NO_3^- von Bakterien gebildet wird. Eine Aufnahme von NO_3^- durch die Lebewesen des Phytoplanktons stellt er allerdings nicht dar. Hier wird interpretiert, dass der Schüler davon ausgeht, dass das Phytoplankton NH_4^+ als Nährstoff bevorzugt bzw. ausschließlich nutzen kann. Das ist ein Fehlkonzept, da das Phytoplankton zwar beide Nährstoffe (NH_4^+ und NO_3^-) nutzen kann, jedoch NO_3^- bevorzugt. Im MZIP III stellt der Schüler keine Aufnahme von stickstoffhaltigen Nährstoffen durch das Phytoplankton mehr dar.

Im MZIP III stellt der Schüler COBE dar, dass das Phytoplankton organ. N-Verbindungen umwandelt. Außerdem stellt dieser Schüler dar, dass diese organ. N-Verbindungen „für die DNS der Fische sind“ (Schülerdarstellung) und zieht eine Relation zwischen organ. N-

Verbindungen und Fischen¹⁶⁵. Die Darstellung ist unvollständig und wird somit als falsche Kante bewertet. Sie wird als nicht eindeutig falsche Kante bewertet, da offen bleibt, ob der Schüler das Richtige meint, nämlich, dass die Lebewesen des Phytoplanktons organ. N-Verbindungen bilden, jedoch nicht abgeben. Diese organ. N-Verbindungen werden über die Nahrungskette an die Lebewesen des Zooplanktons und die Fische weitergegeben und dienen dann - unter anderem - als Baustein für die Bildung der Erbsubstanz (DNS).

VII.6.2.3 Respiration des Phytoplanktons

Vorwissen:

Keiner der Probanden stellt eine respiratorische O₂-Aufnahme bzw. CO₂-Abgabe des Phytoplanktons dar (s. Tabelle 63).

Datenentwicklung vom MZP I nach MZP II:

Im Zwischentest stellt ein kleiner Teil der Schüler dar, dass die Lebewesen des Phytoplanktons neben der fotosynthetischen O₂-Produktion auch selbst O₂ benötigen, sie stellen also die Respiration des Phytoplanktons fachwissenschaftlich richtig dar.

Datenentwicklung vom MZP II nach MZP III:

Vom Zwischentest zum Post-Test liegt der entscheidende Wissenszuwachs darin, dass ein Teil der Schüler im Post-Test darstellt, dass das Phytoplankton neben der fotosynthetischen CO₂-Aufnahme auch selbst CO₂ abgeben.

Fachwissenschaftlich falsche Kanten finden sich zu diesem Konzept keine. Es gibt jedoch indirekt falsche Kanten. Wenn ein Schüler die respiratorische Gasaufnahme bzw. Abgabe darstellt, ohne die entsprechenden Gasaufnahmen bzw. -abgaben der Fotosynthese, so werden diese Kanten als falsch gewertet.

VII.6.2.4 Respiration heterotropher Lebewesen

Vorwissen:

Nur einzelne Schüler stellen Zooplankton als heterotrophe Lebewesen dar, mit der damit verbundenen O₂-Aufnahme und CO₂-Abgabe (s. Tabelle 63).

Die meisten Probanden stellen jedoch Fische als heterotrophe Lebewesen dar, mit der damit verbundenen O₂-Aufnahme und CO₂-Abgabe.

Datenentwicklung vom MZP I nach MZP II:

Bis zum Zwischentest steigt das Wissen über Zooplankton als heterotrophe Lebewesen an, denn über die Hälfte der Schüler stellt eine respiratorische O₂-Aufnahme und respiratorische CO₂-Abgabe dar. Dass Fische heterotrophe Lebewesen sind, die respiratorisch CO₂ abgeben, stellen nun fast alle Schüler dar.

Datenentwicklung vom MZP II nach MZP III:

Bis zum Post-Test zeigt sich keine weitere Wissenszunahme im Bereich der erfassten Inhalte.

¹⁶⁵ Dieses Fehlkonzept, dass organ. N-Verbindungen für die DNS der Fische sind, wurde als „sonstige Fehlkonzepte“ erfasst und keinem der untersuchten Fachkonzepte direkt zugeordnet.

Fachwissenschaftlich falsche Kanten:

Bei drei Schülern zeigen sich fachwissenschaftlich falsche Kanten bezüglich der Gasaufnahme der heterotrophen Lebewesen (s. Tabelle 58). Ein Schüler stellt im Vorwissen dar, dass Fische mithilfe ihrer Kiemen Luft aus dem Wasser aufnehmen (COBE). Das korrigiert dieser Schüler im Zwischentest, indem er darstellt, dass Fische mit ihren Kiemen Sauerstoff aus dem Wasser filtern. Zwei Schüler stellen eine O₂-Aufnahme des Zooplanktons und/ oder der Fische aus der Atmosphäre dar [das wird nur dann als falsche Kante gewertet, wenn in dem CM (Original) O₂ bzw. CO₂ auch im Wasserkörper dargestellt ist (s. z. B. Schüler ROHE, MZP II)].

Tabelle 58: Falsche Kanten über das Konzept Respiration heterotropher Lebewesen

Das Vorkommen einer falschen Kante ist durch den Code des Schülers dokumentiert, in dessen CM sich die jeweilige falsche Kante gezeigt hat. Falls ein Schüler die falsche Kante in einem CM eines späteren Messzeitpunktes korrigiert, findet sich unter diesem Messzeitpunkt der Schülercode mit einem (K).

<i>Eindeutig falsche Kanten:</i>	I	II	III
Zooplankton ^A und/ oder Fische ^B nehmen O ₂ aus der Atmosphäre auf.		ANHE ^{A,B} ROHE ^A	
Fische filtern mit ihren Kiemen Luft aus dem Wasser.	COBE	COBE (K)	
Anzahl verschiedener Schüler mit falschen Kanten:	1	2	--

VII.6.2.5 Einfache Nahrungskette

Vorwissen:

Nur wenigen Probanden ist bekannt, dass die Lebewesen des Phytoplanktons Nahrung für die Lebewesen des Zooplanktons sind (s. Tabelle 63). Die meisten Probanden wissen hingegen, dass die Lebewesen des Zoo- und Phytoplanktons Nahrung für Fische sind. Außerdem stellen die meisten Probanden das Absinken toter Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen ins Sediment dar.

Datenentwicklung vom MZP I nach MZP II:

Im Zwischentest wissen über die Hälfte der Schüler, dass das Phytoplankton Nahrung für das Zooplankton ist.

Datenentwicklung vom MZP II nach MZP III:

Bis zum Ende des Projekts ist die Nahrungsbeziehung zwischen dem Phyto- und Zooplankton bekannt.

Fachwissenschaftlich falsche Kanten:

In der Tabelle 59 finden sich alle falschen Kanten (eindeutige und nicht eindeutige), die sich in der Schülergruppe über die MZP gezeigt haben. Die Auswertung der Anzahl an Schülern mit falschen Kanten zeigt, dass sich diese Zahl über die MZP kaum ändert.

Tabelle 59: Falsche Kanten über das Konzept einfache Nahrungskette

Das Vorkommen einer falschen Kante ist durch den Code des Schülers dokumentiert, in dessen CM sich die jeweilige falsche Kante gezeigt hat. Falls ein Schüler die falsche Kante in einem CM eines späteren Messzeitpunktes korrigiert, findet sich unter diesem Messzeitpunkt der Schülercode mit einem (K).

<i>Eindeutig falsche Kanten:</i>	I	II	III
Phyto- und Zooplankton stehen in Konkurrenz zueinander.		ROHA	ROHA(K)
Zooplankton ist Nahrung für Phytoplankton.	HEHE		HEHE(K)
Bakterien sind vorhanden im Zooplankton. ¹⁶⁶	ANHE		
Mineralien werden vom Zooplankton und/ oder von Fischen verbraucht.		CAHA	
Die Ionen NH_4^+ bzw. NO_3^- werden von Fischen als Nahrung aufgenommen.			CAHA
Zooplankton braucht Nährstoffe (P, Si, NH_4^+). ¹⁶⁷		ROHA	
Anzahl verschiedener Schüler mit falschen Kanten:	2	3	1
<i>Nicht eindeutig falsche Kanten:</i>			
Bakterien sind vorhanden im Phytoplankton. ¹⁶⁸	ANHE		
Konsumenten höherer Ordnung, z. B. Wale ernähren sich von Krill. ¹⁶⁹		COBE	
Schülerzahl mit nicht eindeutig falschen Kanten:	1	1	0
Schülerzahl mit falschen Kanten (Summe der eindeutigen und nicht eindeutigen):	2	3	1

¹⁶⁶ Es wird interpretiert, dass der Proband Bakterien taxonomisch dem Zooplankton zuordnet.

¹⁶⁷ Das schließt Darstellungen ein, in denen die Nährstoffaufnahme aus dem Wasserkörper erfolgt und nicht über die Nahrungskette.

¹⁶⁸ Es wird interpretiert, dass der Proband Cyanobakterien nicht kennt.

¹⁶⁹ Dieser Proband ordnet fachwissenschaftlich falsch dem Krill Phytoplankton zu, aber auch Zooplankton, deshalb wird diese Kante als nicht eindeutig falsch gewertet.

Im Vorwissen stellt der Schüler HEHE dar, dass Zooplankton Nahrung für Phytoplankton ist, und der Schüler ANHE, dass Bakterien im Zooplankton vorhanden sind. Solche falschen Kanten treten im Zwischentest nicht mehr auf. Der Schüler HEHE korrigiert seine falsche Kante bezüglich der Nahrungsbeziehung zwischen Phyto- und Zooplankton allerdings erst im Post-Test. Dort ist fachwissenschaftlich richtig dargestellt, dass das Zooplankton das Phytoplankton als Nahrung aufnimmt.

Im MZP II treten bei drei Schülern eindeutig falsche Kanten auf. CAHA stellt dar, dass Mineralien von Zooplankton und Fischen verbraucht werden, und ROHA stellt dar, dass Zooplankton Nährstoffe braucht. Beide Schüler haben nicht verstanden, dass Fische bzw. Zooplankton Mineralien bzw. Nährstoffe über die Nahrungskette aufnehmen, indem sie Lebewesen einer niedrigeren Trophieebene fressen. ROHA stellt dar, dass das Phyto- und Zooplankton in Konkurrenz zueinander stehen, ohne eine Nahrungskette darzustellen.

Im MZP III korrigiert ROHA seine falsche Kante bezüglich der Nahrungskette zwischen Phyto- und Zooplankton. Möglicherweise damit verbunden kommt die falsche Kante, dass Zooplankton Nährstoffe aus dem Wasser braucht, im MZP III bei ROHA nicht mehr vor. CAHA korrigiert die falsche Kante bezüglich der Nährstoffaufnahme von Fischen bis zum Projektende nicht. Er stellt dar, dass Fische die Ionen NH_4^+ bzw. NO_3^- als Nahrung aufnehmen.

Nicht **eindeutig falsche Kanten** zeigen sich bei zwei Schülern:

Im MZP I stellt ANHE dar, dass Bakterien im Phytoplankton vorhanden sind. Hier wird angenommen bzw. interpretiert, dass ANHE Cyanobakterien nicht kennt. Das wird zum einen damit begründet, dass der Proband die Cyanobakterien nicht explizit genannt hat, und zum anderen, dass er außerdem darstellt, dass das Zooplankton Bakterien enthält. Im MZP II stellt der Schüler hierzu nichts dar.

Im MZP II stellt COBE dar, dass sich Konsumenten höherer Ordnung, z. B. Wale von Krill ernähren. Das ist in der linearen Darstellung fachlich falsch. Es gilt weder für alle Wale noch für alle Konsumenten höherer Ordnung, somit bleibt offen, ob der Proband das Richtige meint. Fachwissenschaftlich richtig wäre eine Darstellung, in der bestimmte Konsumenten höherer Ordnung, nämlich einige Wale als Nahrung Krill aufnehmen. Zudem stellt der Schüler die Lebewesen des Krills fachwissenschaftlich zum Teil falsch dar, denn er bezieht die Lebewesen des Phytoplanktons mit ein. Im MZP III stellt der Schüler hierzu nichts dar.

VII.6.2.6 Mikrobielle Schleife

Vorwissen:

Die mikrobielle Schleife ist den Schülern nicht bekannt (s. Tabelle 63). Ein Schüler stellt die Nahrungsbeziehung zwischen Bakterien und Zooplankton dar, doch er stellt zudem eine Nahrungsbeziehung zwischen Bakterien und Phytoplankton dar.

Datenentwicklung vom MZP I nach MZP II:

Im Zwischentest stellen drei Schüler fachwissenschaftlich richtig dar, dass Bakterien dem Zooplankton als Nahrung dienen können, dabei stellen sie aber auch dar, dass die Lebewesen des Phytoplanktons Bakterien fressen. Daraus ergibt sich der Schluss, dass keiner der Schüler die mikrobielle Schleife kennt.

Datenentwicklung vom MZP II nach MZP III:

Keiner der Schüler stellt in seinem CM etwas zur mikrobiellen Schleife dar.

Fachwissenschaftlich falsche Kanten:

Über die Gruppe betrachtet zeigen sich im Vorwissen bei zwei Schülern fachwissenschaftlich falsche Kanten, im MZP II bei drei Schülern und im dritten MZP bei keinem Schüler.

Tabelle 60: Falsche Kanten über das Konzept mikrobielle Schleife

Das Vorkommen einer falschen Kante ist durch den Code des Schülers dokumentiert, in dessen CM sich die jeweilige falsche Kante gezeigt hat. Falls ein Schüler die falsche Kante in einem CM eines späteren Messzeitpunktes korrigiert, findet sich unter diesem Messzeitpunkt der Schülercode mit einem (K).

<i>Eindeutig falsche Kanten:</i>	I	II	III
Phytoplankton ernährt sich von Bakterien.	COBE	COBE, ANHE, INFR	
Zooplankton wird von Bakterien phagozytiert.	KIUW		
Anzahl verschiedener Schüler mit falschen Kanten:	2	3	

Im Vorwissen stellt ein Schüler (COBE) dar, dass sich die Lebewesen des Phytoplanktons von Bakterien ernähren. Zum Zeitpunkt des MZP II stellen drei Schüler diese falsche Kante dar, im MZP III keiner.

Im Vorwissen stellt der Schüler KIUW dar, dass das Zooplankton von Bakterien phagozytiert wird¹⁷⁰. Im MZP II stellt der Schüler diese falsche Kante nicht mehr dar.

VII.6.2.7 Nährstoffkreisläufe

Vorwissen:

Bezüglich der Nährstoffkreisläufe ist das Wissen insgesamt gering bis nicht ausgebildet (s. Tabelle 63). Die Hälfte der Probanden stellt zwar dar, dass organ. Stoffe von Bakterien zersetzt werden, jedoch zeigt sich, dass nur ein Proband organ. Stoffe als organ. N-Verbindungen darstellt, welche die toten Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen sind (BIMA). Nur zwei Schüler stellen dar, dass bei dieser bakteriellen Zersetzung Nährstoffe freigesetzt werden. Dabei stellen beide Probanden als Nährstoffe NH_4^+ und NO_3^- dar. Einer der beiden (und zwar der Schüler BIMA) stellt außerdem die Nährstoffaufnahme durch die Lebewesen des Phytoplanktons dar. Die Nährstoffgewinnung mittels bakterieller Zersetzung ist nur ansatzweise bzw. sehr unpräzise dargestellt. Sie lautet bei beiden Probanden so, dass organ. Stoffe in NH_4^+ und NO_3^- zersetzt werden bzw. dass diese Nährstoffe produziert werden. Insgesamt ist also das Wissen über Nährstoffkreisläufe in der Stichprobe nur sehr gering ausgebildet.

¹⁷⁰ Diese Relation könnte auch in das Konzept „einfache Nahrungskette“ gefasst werden.

Datenentwicklung vom MZP I nach MZP II:

Im Zwischentest stellen fast alle Schüler dar, dass organ. Stoffe von Bakterien zersetzt werden. Wobei nur einzelne Schüler organ. Stoffe als organ. N-Verbindungen darstellen. Die Nährstofffreisetzungen stellen aber nun die Hälfte der Schüler dar. Das bedeutet, dass im Zwischentest die Hälfte der Schüler den Nährstoffkreislauf kennen.

Datenentwicklung vom MZP II nach MZP III:

Im Post-Test stellen sieben Probanden eine NO_3^- Aufnahme durch die Lebewesen des Phytoplanktons dar und ein weiterer Schüler eine NH_4^+ -Aufnahme. Eine gemeinsame Aufnahme von NH_4^+ und NO_3^- durch das Phytoplankton stellt kein Schüler dar. Den meisten Schülern, die NO_3^- entsprechend darstellen, ist somit auch der Nährstoffkreislauf bekannt, aus dem NO_3^- gewonnen wird. Es kommt also zu einer Wissensentwicklung über den Nährstoffkreislauf und zwar über die stickstoffhaltigen Nährstoffe: Im Zwischentest stellen nur einzelne Probanden NO_3^- , gewonnen aus der bakteriellen Zersetzung organ. Stoffe, als Nährstoff für die Lebewesen des Phytoplanktons dar, und im Post-Test sind es die Hälfte der Probanden.

Fachwissenschaftlich falsche Kanten:

Die Anzahl an Schülern, die fachwissenschaftlich falsche Kanten zeigen, verändert sich über die Messzeitpunkte nicht, doch die falschen Kanten verändern sich (s. Tabelle 61).

Tabelle 61: Falsche Kanten über das Konzept Nährstoffkreisläufe

Das Vorkommen einer falschen Kante ist durch den Code des Schülers dokumentiert, in dessen CM sich die jeweilige falsche Kante gezeigt hat. Falls ein Schüler die falsche Kante in einem CM eines späteren Messzeitpunktes korrigiert, findet sich unter diesem Messzeitpunkt der Schülercode mit einem (K).

	I	II	III
<i>Eindeutig falsche Kanten:</i>			
Bakterien produzieren abgestorbenes Pflanzen- und Tiermaterial.	ROHA		
Am Sediment entstehen organ. N-Verbindungen.	ANHE	ANHE	ANHE
Bakterien bilden organ. N-Verbindungen. ¹⁷¹	ANHE, BEUW	ANHE	CAHA
Bakterien zersetzen organ. Stoffe und bilden organ. N-Verbindungen. ¹⁷²	BEUW		CAHA
Beispiele für organ. N-Verbindungen sind NH_4^+ und/oder NO_3^- .	BEUW		
Organ. N-Verbindungen steigen aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre auf.	BEUW		
Organ. N-Verbindungen werden beim Verwesungsvorgang gespalten in NH_4^+ und NO_3^- . ¹⁷³		BEUW	
Organ. N-Verbindungen lösen sich im Wasser zu NO_3^- und NH_4^+ .	CAHA	CAHA	CAHA
NO_3^- steigt aus dem Wasser in die Atmosphäre auf.	HEHE		

¹⁷¹ Das wird als falsche Kante gewertet, wenn in dem CM keine entsprechende Darstellung mit den Lebewesen des Phytoplanktons abgebildet ist.

¹⁷² Das wird als falsche Kante gewertet, wenn in dem CM keine Bildung der organ. N-Verbindungen durch die Lebewesen des Phytoplanktons dargestellt ist.

¹⁷³ Das wird als falsche Kante gewertet, wenn keine Beteiligung von Destruenten bzw. Bakterien dargestellt ist.

Fortsetzung der Tabelle 61:

	I	II	III
Eindeutig falsche Kanten:			
NH ₄ ⁺ steigt aus dem Wasser in die Atmosphäre auf.	HEHE		BIMA
Das Sediment enthält NO ₃ ⁻ bzw. NH ₄ ⁺ Ionen.	KIUW	KIUW (K)	
Das Sediment gibt, nachdem Bakterien abgesunken sind, NH ₄ ⁺ ab.	INFR		INFR(K)
Das Sediment gibt organ. N-Verbindungen ab.	INFR	INFR	INFR
Organ. N-Verbindungen setzen NH ₄ ⁺ frei.		INFR	INFR(K)
NO ₃ ⁻ aus dem Wasser wird mittels Denitrierung als organ. N-Verbindung an die Atmosphäre abgegeben.			ROHE
Aus organ. N-Verbindungen der Atmosphäre wird mittels Stickstofffixierung NH ₄ ⁺ ins Wasser eingeführt.			ROHE
Anzahl verschiedener Schüler mit eindeutig falschen Kanten:	7	4	5
Nicht eindeutig falsche Kanten:			
Bakterien zersetzen Fische. ¹⁷⁴	ROHA		ROHA
Zersetzung von Phytoplankton, Zooplankton und/ oder Fischen führt zur Bildung von Sediment. ¹⁷⁵		ROHA	
Aus organ. N-Verbindungen erfolgt die Fixierung des Stickstoffs als NH ₄ ⁺ .			BEUW
Organ. Abfall erhöht die Konzentration an NH ₄ ⁺ und NO ₃ ⁻ .		CAHA	
Die Ionen NH ₄ ⁺ und NO ₃ ⁻ stammen aus organ. Abfall des Menschen, indem sie sich aus dem Abfall im Wasser lösen.		CAHA	
Das Sediment besteht aus organ. N-Verbindungen.	CAHA	CAHA, ROHA, BIMA	CAHA(K)
NH ₄ ⁺ wird umgewandelt in organ. N-Verbindungen.			ROHA
Anzahl verschiedener Schüler mit nicht eindeutig falschen Kanten:	2	3	2
Summe der Anzahl verschiedener Schüler mit falschen Kanten (eindeutige und nicht eindeutige):	7	7	7

Falsche Kanten zeigen sich im MZP I bei sieben Schülern. Hierbei gibt es bei folgenden Schülern falsche Kanten, die bis zum MZP III bei diesen Schüler bestehen bleiben. Solche falschen Kanten werden als „stabile Fehlkonzepte“ bezeichnet.

ANHE stellt dar, dass organ. N-Verbindungen im Sediment entstehen, und versteht damit bis zum Projektende nicht, dass das Phytoplankton die organ. N-Verbindungen fotosynthetisch aufbaut und über die Nahrungskette weitergibt. In den MZP I und II stellt ANHE überdies dar, dass Bakterien die organ. N-Verbindungen bilden¹⁷⁶.

¹⁷⁴ Das wird als falsche Kante gewertet, wenn nicht ausdrücklich dargestellt ist, dass tote Fische gemeint sind.

¹⁷⁵ Solche Kanten werden als falsch gewertet, wenn nicht ausdrücklich tote Organismen dargestellt sind.

¹⁷⁶ Es wird davon ausgegangen, dass dem Schüler die bakterielle Bildung von organ. Substanz nicht bekannt ist. Wenn der Schüler diese zusätzlich zu der des Phytoplanktons dargestellt hätte, so wäre die Darstellung nicht als falsche Kante gewertet worden.

Der Schüler INFR stellt dar, dass das Sediment organ. N-Verbindungen abgibt. Auch er versteht bis zum Projektende nicht, dass die organ. N-Verbindungen vom Phytoplankton synthetisiert werden.

CAHA stellt dar, dass sich die organ. N-Verbindungen im Wasser zu NO_3^- und NH_4^+ Ionen lösen. Dieser Schüler versteht bis zum Projektende nicht, dass diese Nährstoffe mithilfe von Destruenten (Bakterien) aus den organ. N-Verbindungen recycelt werden und nicht über einen einfachen Lösungsvorgang aus den organ. N-Verbindungen hervorgehen.

Neben diesen stabilen Fehlkonzepten werden auch falsche Kanten korrigiert:

KIUW stellt im MZP I dar, dass das Sediment die Ionen NO_3^- bzw. NH_4^+ enthält. Der Schüler korrigiert diese falsche Kante im MZP II, indem er darstellt, dass diese Ionen mittels bakterieller Zersetzung von organ. Stoffen gebildet werden.

Weiterhin kommen im MZP I falsche Kanten vor, die im MZP II nicht mehr auftreten: BEUW stellt beispielsweise folgende Zusammenhänge dar: Bakterien zersetzen tote Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen und bilden dabei organ. N-Verbindungen. Organ. N-Verbindungen sind NH_4^+ und NO_3^- . Diese steigen aus dem Wasser in die Atmosphäre auf. Im MZP II stellt BEUW diese falschen Kanten nicht mehr dar, allerdings stellt der Schüler dar, dass organ. N-Verbindungen beim Verwesungsvorgang in NH_4^+ und NO_3^- gespalten werden. Hier stellt er keine Beteiligung von Destruenten bzw. Bakterien dar. Dass NO_3^- und/ oder NH_4^+ aus dem Wasser in die Atmosphäre aufsteigt/ aufsteigen, stellt außer BEUW zudem der Schüler HEHE dar. INFR stellt dar, dass das Sediment NH_4^+ -Ionen abgibt, nachdem Bakterien abgesunken sind. Eine bakterielle Beteiligung an dieser Ionen-Freisetzung wird allerdings nicht abgebildet. Vielmehr lässt die Darstellung den Schluss zu, dass der Proband hier tote Bakterien meint, da er „absinken“ schreibt. ROHA stellt dar, dass Bakterien abgestorbenes Pflanzen- und Tiermaterial produzieren.

Im MZP III zeigen sich bei zwei weiteren Schülern falsche Kanten zu diesem Fachkonzept. BIMA gibt an, dass NH_4^+ aus dem Wasser in die Atmosphäre aufsteigt. ROHE stellt dar, dass NO_3^- aus dem Wasser mittels Denitrierung als organ. N-Verbindung an die Atmosphäre abgegeben wird. Weiterhin stellt er dar, dass organ. N-Verbindungen aus der Atmosphäre mittels Stickstofffixierung als NH_4^+ ins Wasser eingeführt werden. Er geht offenbar davon aus, dass organ. N-Verbindungen elementare Stickstoffverbindungen (N_2) sind.

Nicht eindeutig falsche Kanten zeigen sich im MZP I bei zwei Schülern (ROHA, CAHA). CAHA stellt in den MZP I und II dar, dass das Sediment aus organ. N-Verbindungen besteht. Das wird als eine nicht eindeutige falsche Kante gewertet, da nicht eindeutig interpretierbar ist, ob der Schüler die abgesunkenen toten Lebewesen meint und mit dieser Darstellung deutlich machen möchte, dass das Sediment an den Stellen hauptsächlich aus organ. N-Verbindungen besteht oder, ob der Schüler tatsächlich das meint, was er schreibt. Das ist aber fachwissenschaftlich falsch. Im MZP II stellen zwei weitere Schüler diesen Sachverhalt ebenso dar. Der Schüler CAHA korrigiert „seins“ falsche Kante teilweise, indem er im MZP III abbildet, dass Bakterien abgestorbene Lebewesen zersetzen und diese Zersetzungsprodukte ins Sediment absinken. Er stellt außerdem dar, dass Bakterien organ. N-Verbindungen freisetzen, die zum einen ins Sediment absinken und sich zum anderen im Wasser zu den Ionen NH_4^+ und NO_3^- lösen.

Im MZP II stellt ROHA dar, dass die Zersetzung von Phytoplankton, Zooplankton und Fischen zur Bildung von Sediment führt. Das wird als falsche Kante gewertet, da nicht dargestellt ist, dass die Lebewesen tot sind. Es ist eine nicht eindeutig falsche Kante, da der Schüler möglicherweise voraussetzt, dass die Lebewesen tot sind. CAHA stellt dar, dass organ. Abfall, der von außen ins Meer gelangt, zu einer Erhöhung der NH_4^+ und NO_3^- -Ionen Konzentration führt, indem sich der Abfall im Wasser löst. Das ist fachlich so nicht richtig. Für die Ionenbildung sind Bakterien erforderlich, deren Beteiligung der Proband aber nicht einbezieht. Beide falschen Kanten kommen im MZP III nicht mehr vor.

Im MZP III stellt BEUW dar, dass aus organ. N-Verbindungen die Fixierung des Stickstoffs als NH_4^+ erfolgt, was so nicht zutreffend ausgedrückt ist. Die NH_4^+ Ionen können aus den organ. N-Verbindungen mithilfe von Bakterien freigesetzt werden und stellen damit eine Stickstoffquelle für das Phytoplankton dar. Der Proband geht möglicherweise davon aus, dass organ. N-Verbindungen elementarer Stickstoff (N_2) sind. Der Proband ROHA stellt dar, dass NH_4^+ in organ. N-Verbindungen umgewandelt wird. In diesem CM finden sich zwei Komponenten. Eine Komponente umfasst die einfache Nahrungskette mit dem Phytoplankton als fotosynthetisch autotrophe Lebewesen. In einer weiteren Komponente wird in einem Kreislauf dargestellt, dass Lebewesen NO_3^- verbrauchen und NH_4^+ produzieren. NH_4^+ wird umgewandelt in organ. N-Verbindungen. Organ. N-Verbindungen werden in NO_3^- umgewandelt, die dann wieder von den Lebewesen verbraucht werden. Wenn der Proband verstanden hätte, dass das Phytoplankton die Bildung der organ. N-Verbindungen mithilfe des Nährstoffs NO_3^- durchführt, hätte er es nicht in einer separaten Komponente darstellen müssen und zudem den Begriff „Lebewesen“ verwendet. Selbst unter der Annahme, dass mit „Lebewesen“ autotrophe Lebewesen gemeint sind, ist die Darstellung mit falschen Kanten behaftet, insbesondere in Bezug auf das Verständnis über organ. N-Verbindungen sowie die Ionen NH_4^+ und NO_3^- .

VII.6.2.8 Nitrifikation

Vorwissen

Die Nitrifikation wird von keinem der Probanden dargestellt (s. Tabelle 63).

Datenentwicklung vom MZP I nach MZP II:

Hier gibt es keinen Wissenszuwachs.

Datenentwicklung vom MZP II nach MZP III:

Bakterien können aus NH_4^+ NO_3^- bilden. Die vollständige Nitrifikation wird von einem der Schüler dargestellt (ROHE).

Fachwissenschaftlich falsche Kanten:

Über die Gruppe betrachtet zeigen sich hier in den MZP I und II keine falschen Kanten. Im MZP III zeigen drei Schüler falsche Kanten.

Tabelle 62: Falsche Kanten über das Konzept Nitrifikation

Das Vorkommen einer falschen Kante ist durch den Code des Schülers dokumentiert, in dessen CM sich die jeweilige falsche Kante gezeigt hat. Falls ein Schüler die falsche Kante in einem CM eines späteren Messzeitpunktes korrigiert, findet sich unter diesem Messzeitpunkt der Schülercode mit einem (K).

<i>Eindeutig falsche Kanten:</i>	I	II	III
Mittels Nitrierung wird aus NH_4^+ NO_3^- .			BEUW
Nitritbakterien bilden NO_3^- .			COBE
Bakterien stellen aus NO_3^- NH_4^+ her.			BIMA
Anzahl verschiedener Schüler mit falschen Kanten:	--	--	3

Zwei Schüler setzen Fachbegriffe fachwissenschaftlich falsch ein bzw. ordnen die Fachbegriffe fachlich nicht korrekt zu. BEUW stellt dar, dass mittels „Nitrierung“ aus NH_4^+ NO_3^- wird. Nitrifikation wäre hier fachwissenschaftlich korrekt. COBE stellt dar, dass „Nitritbakterien“ NO_3^- bilden. Nitratbakterien wäre hier fachwissenschaftlich richtig. Die Schüler stellen fachwissenschaftlich richtige Prozesse dar, jedoch die Terminologien der Prozesse bzw. der beteiligten Bakterien sind fachwissenschaftlich falsch.

BIMA stellt dar, dass Bakterien aus NO_3^- NH_4^+ herstellen, was zeigt, dass der Schüler die Nitrifikation nicht verstanden hat.

VII.6.2.9 Übersicht der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte

Die Tabelle 63 enthält alle fachwissenschaftlich richtigen Inhalte, die in den Concept Maps der Schüler des Bio-LK (N= 10) über die drei MZP (I-III) vorgekommen sind. Unter den MZP ist jeweils die Anzahl der Schüler notiert, die diesen Inhalt abgebildet haben.

Tabelle 63: Übersicht der fachwissenschaftlich richtigen Inhalte in den Concept Maps der Schüler des Bio-LK (N= 10)

	MZP I	MZP II	MZP III
Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Wasser:			
CO ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.	0	1	0
<u>Nur eine Richtung:</u>	3	2	2
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre	2	0	1
O ₂ gelangt über Diffusion aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt bzw. löst sich im Wasser zu Ionen.	0	1	0
<u>Nur eine Richtung:</u>	1	2	2
Richtung: Atmosphäre → Wasser			
Richtung: Wasser → Atmosphäre	2	2	1
Fotosynthese und Nährstoffe:			
Phytoplankton betreibt Fotosynthese.	8	10	10
Licht wird vom Phytoplankton [für Fotosynthese] aufgenommen.	8	10	10
Phytoplankton nimmt CO ₂ auf.	8	8	10
Phytoplankton gibt O ₂ ab.	8	9	10
Phytoplankton nimmt Nährstoffe auf. (hier sind alle Nährstoffe gemeint, außer NO ₃ ⁻ und NH ₄ ⁺).	0	4	2
NO ₃ ⁻ wird von Phytoplankton aufgenommen.	2	6	7
NH ₄ ⁺ wird von Phytoplankton aufgenommen.	2	4	1
Respiration des Phytoplanktons:			
Phytoplankton nimmt O ₂ auf.	0	3	4
Phytoplankton gibt CO ₂ ab.	0	1	3
Respiration heterotropher Lebewesen:			
Zooplankton nimmt O ₂ auf.	3	6	5
Zooplankton gibt CO ₂ ab.	2	5	5
Fische nehmen O ₂ auf.	9	9	9
Fische geben CO ₂ ab.	7	9	8
Einfache Nahrungskette:			
Phytoplankton wird von Zooplankton gefressen.	3	7	10
Zooplankton wird von Fischen gefressen.	9	10	10
Phytoplankton wird von Fischen gefressen.	6	6	0
Nach dem Absterben von Lebewesen sinken die toten Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen ab ins Sediment.	8	7	5

Fortsetzung der Tabelle 63:

	MZP I	MZP II	MZP III
Mikrobielle Schleife:			
Bakterien können dem Zooplankton als Nahrung dienen.	1	3	0
Nährstoffkreislauf:			
Destruenten (Bakterien) zersetzen organ. Stoffe ¹ .	5	8	8
¹ Organ. Stoffe sind tote Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen	4	4	4
¹ Organ. Stoffe sind organ. N-Verbindungen ²	1	3	4
² Organ. N-Verbindungen sind Lebewesen bzw. deren Ausscheidungen.	1	3	4
Über die Zersetzung organ. Stoffe durch Destruenten (Bakterien) werden Nährstoffe freigesetzt.	2	5	5
Nährstoffe sind:			
Alle, außer N-Nährstoffe	0	1	1
NH_4^+	2	4	3
NO_3^-	2	4	5
Folgende abgebauten Nährstoffe werden vom Phytoplankton aufgenommen:			
Alle, außer N-Nährstoffe	0	1	1
NH_4^+	1	3	0
NO_3^-	1	2	5
Nitrifikation:			
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH_4^+ -Ionen bzw. NO_3^- -Ionen freigesetzt.	2	2	2
Durch den bakteriellen Abbau werden aus organ. N-Verbindungen NH_4^+ Ionen freigesetzt.	0	0	1
Bakterien können aus NH_4^+ NO_3^- bilden.	0	0	4
Bestimmte Bakterien (Nitritbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus NH_4^+ Nitrit (NO_2^-).	0	0	1
Bestimmte Bakterien (Nitratbakterien) bilden mithilfe von Sauerstoff aus Nitrit Nitrat (NO_3^-), das dem Phytoplankton wieder als Nährstoff zur Verfügung steht.	0	0	1

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Dissertation abgesehen von der Beratung durch meinen Betreuer, Prof. Dr. Horst Bayrhuber, nach Inhalt und Form mein eigenes Werk ist. Bei ihrer Anfertigung habe ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet.

Ferner erkläre ich, dass ich zuvor noch keinen Promotionsversuch unternommen habe und dass diese Arbeit weder vollständig noch in Teilen an anderer Stelle im Rahmen eines Prüfungsverfahrens vorgelegt, veröffentlicht oder zur Veröffentlichung eingereicht worden ist.

Kiel, 30.10.2006, Anja Schmitz

ANJA SCHMITZ, DIPLOM BIOLOGIN

PERSÖNLICHE DATEN

Geburtsdatum/ -ort: 15.01.1975 in Bad Godesberg
Nationalität: deutsch

DERZEITIGE TÄTIGKEIT

seit Januar 2004 Wissenschaftliche Mitarbeiterin in dem Projekt Evaluation NaT-Working „Meeresforschung“ in der Abteilung Biologiedidaktik am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) an der Universität Kiel

STUDIENABSCHLÜSSE

März 2001 Diplom Biologie (Note: 1,4), Universität zu Köln, Diplomarbeit: „Antisense-Repression und Überexpression des plastidären Glukose-6-Phosphat/ Phosphat-Translokators (GPT) in transgenen Kartoffelpflanzen“.

September 2003 Weiterbildungsmanagement (WBM): Führung, Systementwicklung, Didaktik (Zertifikat), Technische Universität Berlin (TU-Berlin), Studienarbeit: „Einführung in die Planung, Durchführung und Auswertung von Evaluationsmaßnahmen in der Aus- und Weiterbildung“, Note: 1,0.

AUSLANDERFAHRUNG

SS 1998 Semester an der Universität in Umeå, Schweden; Genetik-Kurs am Institut für Genetik (10p/ 15 ETCS-credits).

SCHULABSCHLUSS

Mai 1994 Abitur (Note: 2,4), Clara-Fey Gymnasium, Schleiden (Eifel).

BERUFSERFABRUNG

Apr. 2001 – Okt. 2001 Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Abt. Marketing und Vertrieb, Invitek GmbH, Berlin.

Nov. 2001 – Okt. 2002 Wissenschaftliche Betreuerin für den Bereich Fort- und Weiterbildung, BBB Management GmbH, Gläsernes Labor, Campus Berlin-Buch.

Apr. 2003 – Jan. 2004 Wissenschaftliche Hilfskraft, Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Biologie, Abt. Zellbiologie, Betreuung der Pflanzenphysiologie-Praktika für Biologen (Diplom und Lehramt) im Grundstudium.

NEBENTÄTIGKEITEN

Unregelmäßig seit 2002

- Dozentin in Schulungen zur Fortbildung zum geprüften Pharmareferenten für die B|Braun Melsungen AG und das Seminarzentrum Göttingen an wechselnden Orten in Deutschland.
- Dozentin im Rahmen der Fortbildung zur „Fachkraft für Molekularbiologie“ für die BBB Management GmbH sowie die akademie4science in Berlin.
- Betreuung und Durchführung von Intensivkursen zur Molekularbiologie (Theorie und Praxis) für Schüler der Sek II und Studienanfänger (fünftägige Kurse) für die BBB Management GmbH, Gläsernes Labor, Berlin.
- Skripterstellung für einen Abiturvorbereitungskurs im Fach Biologie (Fachbereich Genetik) und Durchführung der entsprechenden Wochenendseminare, BBB Management GmbH, Gläsernes Labor, Berlin.

Kiel, 30.10.2006